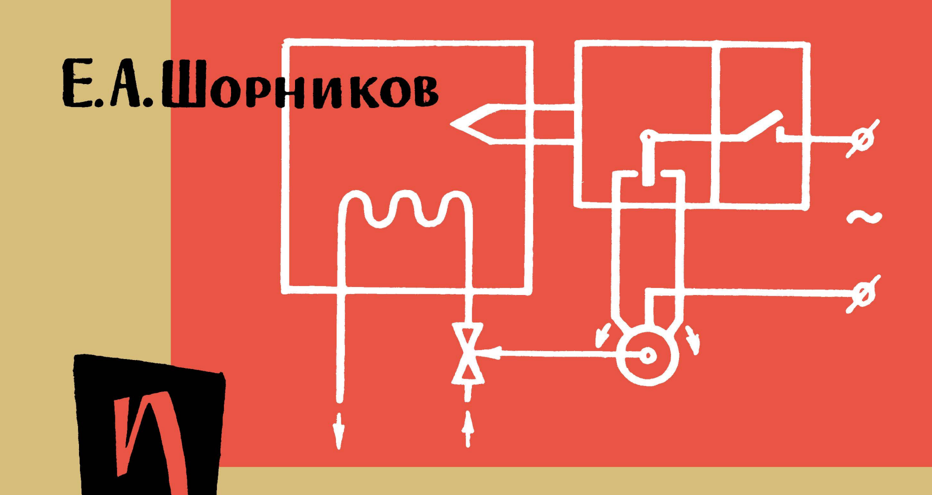
Е. А. Шорников



Электронные приборы для контроля и автоматического регулирования температуры



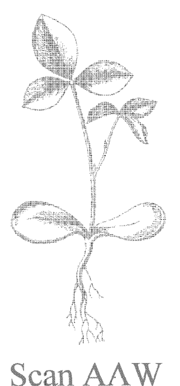
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 545

Е. А. ШОРНИКОВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ





ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

УДК 62-555.621.9
Ш-78

Рассматриваются вопросы контроля и автоматического регулирования температуры в промышленных установках, приводится ряд схем и технические данные по использованию приборов для широкого применения в различных областях народного хозяйства.

Книга предназначена для подготовленных радиолюбителей и специалистов, работающих в области автоматизации производственных процессов.

Шорников Евгений Алексеевич

Электронные приборы для контроля и автоматического регулирования температуры. М.—Л., издательство „Энергия", 1964. 48 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 545).

Тематический план 1964 г. № 347.

Редактор *Е. И. Баранчук* Техн. редактор *Г. С. Юдаева*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 30/V 1964 г. Подписано к печати 22/VII 1964 г.
Т 09013 Бумага 84×108¹/₃₂ Печ. л. 2,46 Уч.-изд. л. 3,29
Тираж 28400 Цена 13 коп. Зак. 1316

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати.
Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Температура — один из самых распространенных параметров многих технологических процессов в различных областях народного хозяйства.

Для измерения, сигнализации и автоматического регулирования температуры наша промышленность выпускает большое количество различных устройств от простых приборов до цифровых машин централизованного контроля и управления.

Последние годы характерны тем, что средства дистанционного контроля и автоматизации проникают даже в те области, в которых из-за простоты и низкой стоимости технологического оборудования это не практиковалось ранее.

В книге кратко систематизированы электрические датчики температуры и вторичные приборы так, чтобы радиолюбители и специалисты различных отраслей народного хозяйства могли оценить и выбрать для применения устройства, целесообразные по стоимости, точности, простоте и надежности.

В связи с тем, что внедрение средств измерения и сигнализации температуры — более простое для радиолюбителей дело, чем внедрение автоматического регулирования, большая часть книги уделена измерительным устройствам. С этой целью приведен ряд практических схем простых приборов и описан принцип действия сложных. Особо выделен раздел вторичных преобразователей, которым сейчас уделяется много внимания в измерительной технике.

Глава по автоматическому регулированию температуры содержит только простые схемы регуляторов вследствие того, что такие регуляторы недостаточно популяризированы, хотя во многих случаях удовлетворяют предъявляемым технологическим требованиям и экономически выгодны.

Книга содержит схемы и технические данные электронных приборов, выпускаемых промышленностью и разработанных в научно-исследовательских организациях, лучшие радиолюбительские конструкции и схемы из иностранной литературы.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

Глава первая

ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Измерение температуры вещества основано на изменении физических свойств тела, находящегося в тепловом контакте с контролируемым веществом, в зависимости от изменения температуры.

С 1 января 1963 г. Государственным стандартом 9867-61 в СССР введена Международная система единиц, согласно которой единицей измерения температуры по термодинамической температурной шкале служит градус Кельвина (° К) и для температуры тройной точки воды установлено значение 273,16° К (точно).

ГОСТ 8550-61 предусмотрено применение двух температурных шкал: термодинамической и международной практической. Температуры по обеим шкалам могут быть выражены и в градусах Кельвина (° К), и в градусах Цельсия (° С), в зависимости от начала отсчета по шкале.

Для измерения температуры необходимо преобразовать эту физическую величину в другую, более удобную для контроля физическую величину. Устройство, выполняющее такое преобразование, называется датчиком температуры. Основное назначение датчиков — служить воспринимающими элементами приборов контроля и автоматического регулирования.

Наибольшее применение в промышленности имеют датчики, использующие такие физические явления, как тепловое расширение, изменение электрической проводимости вещества и появление контактной термо-э. д. с.

Датчики температуры в зависимости от их особенностей имеют различные наименования: термометр, термосигнализатор, реле температуры, терморегулятор и другие.

Ниже приведены описания наиболее распространенных типов электрических датчиков температуры, непосредственно контактирующих с контролируемой средой, другие типы датчиков температуры описаны в [Л. 1, 2].

I. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫЕ ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ

А. Термометры ртутные

Термометры ртутные контактные изготавливаются в стеклянных термобаллонах. Принцип действия их основан на увеличении объема ртути при нагревании. При этом ртуть, представляющая собой

хороший проводник электрического тока, замыкает два контакта, впаянные или погруженные в капиллярную трубку.

Имеются следующие типы ртутных электроконтактных датчиков:

ТКМП и ТКМУ — термометры ртутные контактные с магнитной регулировкой переменного контакта (с прямой и с изогнутой под углом нижней активной частью) с пределами шкалы температур 0—50°, 0—100°, 50—150°, 100—200°, 100—300° С. Контакты переставливают путем вращения (вручную) магнитной головки.

ТК-101 — термосигнализатор контактный. Заданную температуру в диапазоне 20—220° С устанавливают путем отлива части ртути из капилляра в резервуар, поэтому перестановка точки контакта в этом приборе неудобна.

ТК-103 — термометр контактный с пределами шкалы —10°÷+120° С, точка контакта постоянная при температуре 95° С.

ТК-104 — термометр контактный с постоянными впаянными контактами (до трех штук) в диапазонах температур 30—90°, 40—180°, 50—250° С по требованию в соответствующих пределах шкал 0—100°, 0—200°, 0—300° С.

Термометры ртутные электроконтактные позволяют визуально отсчитывать температуру по уровню ртути в капилляре со шкалой в °С с погрешностью от 1° до 3° С в зависимости от типа датчика.

Допустимая нагрузка в цепи контактов до 2 *вт* при напряжении до 6 *в*.

Б. Манометрические термометры и реле

Принцип действия манометрических термометров основан на зависимости давления газа или насыщенного пара низкокипящей жидкости (заключенных в герметическую термометрическую систему) от изменения температуры [Л. 1—3].

Замкнутая система имеет постоянный объем и состоит из термобаллона, помещаемого в контролируемую среду, соединительного капилляра и чувствительного манометрического элемента, с которым тем или иным способом связаны подвижные электрические контакты и стрелки шкал у показывающих типов приборов.

Шкалы газовых приборов равномерные, а паровых — расширяются к концу шкалы.

Показывающие приборы следующие:

ЭКТ-1 — термометр электроконтактный с пределами измерения 0—250° С. Давление измеряемой среды до 10 *кГ/см²*. Диаметр термобаллона 15 *мм*, длина 65 *мм*.

ЭКТ-2 — то же с пределами измерения 0—400° С при давлении среды до 40 *кГ/см²*. Диаметр баллона 22 *мм*, длина 320 *мм*.

Длина капилляров у приборов ЭКТ: 1,6; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8 и 10 *м*; разрывная мощность контактов до 10 *вт* при напряжении 220 *в*.

ТС-100 — термосигнализатор с пределами измерения 0—100° С, температурные интервалы от 0 до 40° и от 40 до 100° С.

ТС-200 — термосигнализатор с пределами измерения 100—200° С, температурные интервалы от 100 до 150° и от 150 до 200° С.

Диаметр термобаллонов у приборов ТС 12 *мм*, длина 100 *мм*, длина капилляров 1, 2, 3, 5, 8 и 12 *м*; допустимый ток через контакты 0,2 *а* при напряжении 220 *в*.

Для сигнализации заданных значений температуры в приборах ТС и ЭКТ имеются два контакта, механически связанные с контроль-

ными стрелками, выведенными на шкалу температур. Поэтому при достижении объектом температуры, заданной установкой контрольной стрелки, связанный с рабочей стрелкой контакт замыкается с контактом соответствующей контрольной стрелки.

ТПГ-278 — термометр манометрический, показывающий, с трехпозиционным электроконтактным устройством.

ТСГ-618 — то же и самопишущий, диаграмма круглая на 24 *ч* с приводом от синхронного электродвигателя.

У приборов ТГ верхние пределы показаний 120, 160, 200 и 300° С. Диаметр термобаллона 22 *мм*, длина — 255 *мм*. Длины соединительных капилляров 10, 25 и 40 *м*. Максимальный ток в цепи ртутно-стеклянного переключателя 3 *а* при напряжении переменного тока 220 *в*. Давление измеряемой среды до 60 *кГ/см²*.

Приборы рассчитаны на эксплуатацию в помещениях с температурой воздуха 10—50° С.

Приборостроительная промышленность выпускает ряд термореле различных назначений:

КР-1—КР-4 — комбинированные реле для автоматического управления и защиты по температуре и давлению в водяных и масляных системах двигателей внутреннего сгорания от 30 до 105° С на одну, две, три и четыре точки соответственно. Зона нечувствительности не более 3° С.

ТРК-3 — термореле корабельное, предназначенное для автоматического замыкания электрической цепи при повышении температуры жидкости выше задаваемой от 56 до 88° С. Разрывная мощность металлических контактов 300 *ва* при безындуктивной нагрузке и напряжении 380 *в*. Погрешность ±4% от диапазона при крене до 15° и ±10% при крене до 45°. Длина капилляра 3 *м*, термобаллона — 140 *мм*.

ТРДК-3 — термореле дифференциальное с пределами настройки от —2 до +12° С и от —25 до 0° С. Зона нечувствительности регулируется узлом установки в пределах 2—8° С. Контакты аналогичны контактам реле ТРК-3.

ТРД-3 — термореле двухпозиционное дистанционное с пределами настройки от —25 до 0° С. Предназначено для включения и выключения системы управления холодильной машины в зависимости от температуры холодильного агента.

ТДД — терморегулятор двухпозиционный дистанционный с пределами настройки от —30 до +5° С и от —10 до +30° С; чувствительность 1,5%. Разрывная мощность ртутного выключателя 300 *ва* при напряжении 220 *в* переменного тока. Длина капилляра от 1,6 до 10 *м*; диаметр термобаллона 18 *мм*, длина 150 *мм* для жидких сред и 360 *мм* для газовых.

ТДК — терморегулятор двухпозиционный комнатный с пределами настройки: ТДК-50 (51) от 15 до 25° С, ТДК-60(61) от 10 до 30° С. Разрывная мощность ртутного выключателя 300 *ва* при напряжении 220 *в*. Нечувствительность регулируется от 3,5 до 10° С; температура воспринимается встроенным в корпус сильфоном.

В. Биметаллические и дилатометрические термометры и реле

Биметаллический чувствительный элемент, благодаря различию коэффициентов линейного расширения двух металлов при различных температурах, имеет разную степень деформации. Это свойство би-

металлов используется либо для замыкания и размыкания контактов, либо для перемещения элементов индукционных и иных преобразователей.

В дилатометрических чувствительных элементах стержень и труба из материалов с различными коэффициентами линейного расширения скрепляются лишь с одного конца, поэтому при изменении температуры конец стержня перемещается относительно трубки.

К биметаллическим и дилатометрическим датчикам относятся:

ДТКМ — датчик биметаллический с пределами регулирования температур от —30 до +50° С в системах авторегулирования неагрессивных газов и паров. Разрывная мощность контактов 50 *ва* при напряжении до 220 *в*.

ТР-200 — дилатометрическое термореле с пределами настройки от 25 до 200° С; разрывная мощность контактной пары 30 *вт* при напряжении 220 *в* переменного тока. Зона нечувствительности не более 5° С. Длина реле 136 *мм*, диаметр 18 *мм*, диаметр головки 44 *мм*.

ДЖК-2 — дилатометрическое реле температуры с пределами настройки от 50 до 100° С, зона нечувствительности 1,6° С. Имеет контактный микропереключатель МП-1. Глубина погружения датчика 430 *мм*. Применяется в текстильной промышленности.

Термореле АД-155М предназначено для размыкания и замыкания электрической цепи низкого напряжения при достижении заданной температуры окружающего воздуха. Выпускается в двух исполнениях: А — для выключения питания объекта током, Б — для включения питания. Диапазон температур от —60 до +265° С. Напряжение питания 27±3 *в*; максимальный ток через контакты 25 *а*. Габариты — 52×36×18 *мм*.

2. ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

А. Термисторы

Действие полупроводниковых термометров сопротивления (термисторов) основано на использовании изменения их электрического сопротивления в зависимости от температуры. Эта зависимость — основная характеристика термистора и достаточно точно выражается экспоненциальным законом

$$R = R_{20} \cdot e^{-\frac{B}{T}},$$

где R — сопротивление термистора, *ом*;

T — температура термистора, ° К;

е — основание натурального логарифма;

B — коэффициент, постоянный для данного термистора;

R_{20} — сопротивление данного термистора при температуре 20° С.

Промышленность выпускает несколько типов термисторов для измерения температуры и теплового контроля. У них допустимое отклонение от номинального значения сопротивления R_{20} составляет ±20%, разброс по величине температурного коэффициента для партии термисторов одного номинала ±0,2%/° С. Это ограничивает

взаимозаменяемость датчиков, однако применение так называемых контуров взаимозаменяемости, состоящих из термистора и параллельно и последовательно соединенных с ним постоянных активных сопротивлений, позволяет отчасти устранить указанный недостаток (см. раздел 5).

Характер изменения величины сопротивления термисторов %R от температуры по сравнению с проволочным сопротивлением ТСМ приведен на рис. 1.

Термисторы ММТ-4, КМТ-4, КМТ-14 герметизированы, а ММТ-1 и КМТ-1 не герметизированы и предназначены для сухих закрытых помещений.

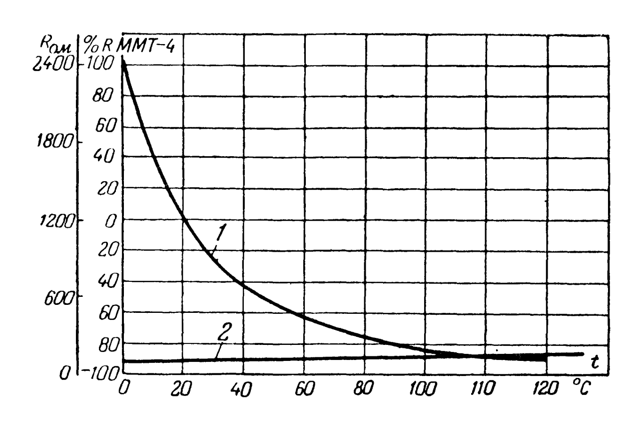


Рис. 1. Характеристика термистора ММТ-4 (*1*) и термометра сопротивления проволочного ТСМ (*2*).

Диапазон номинальных сопротивлений для типов ММТ занимает от 1 до 200 *ком*, для типа КМТ от 20 до 1 000 *ком*. Их подробные данные приведены в [Л. 1, 4].

Хотя термисторы имеют нелинейную температурную характеристику и не взаимозаменяемы, однако они обладают рядом преимуществ по сравнению с другими типами датчиков: имеют малые геометрические размеры и малую стоимость, позволяют применять простые вторичные приборы и получать высокую точность измерения.

Указанные типы термисторов широко применяются в различных отраслях народного хозяйства. Так, например, Агрофизический институт выпускает приборы с термисторами ММТ-4 и ММТ-6 для сельского хозяйства (в том числе для измерения температуры почвы), а термистор МТ-54 применяют для измерения температуры листьев растений. Выпускаются приборы с термисторами ММТ-4 и КМТ-4 для многоточечного контроля и регулирования температуры в сушильных камерах [Л. 5] и другие.

После тренировки (выдержки при высокой температуре) и индивидуальной градуировки термисторы позволяют измерять температуры с точностью не менее 0,1° С.

Б. Полупроводниковые диоды и транзисторы как датчики температуры

Зависимость сопротивления переходов полупроводниковых диодов и транзисторов от температуры позволяет с успехом применять их в качестве датчиков температуры.

Из-за нелинейности вольт-амперной характеристики диодов для измерения температуры используют характеристику (рис. 2) изменения напряжения на диоде в зависимости от его температуры при постоянном значении тока, протекающего в прямом направлении через переход [Л. 6]. Постоянство тока достигается последователь-

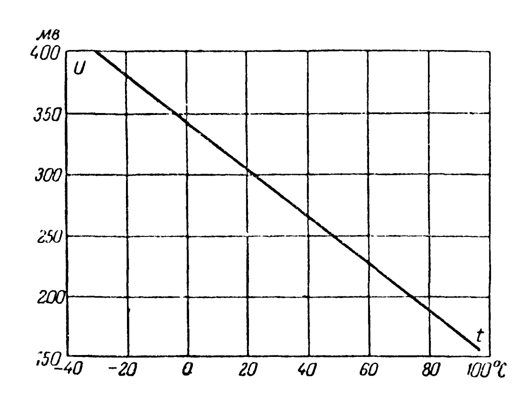


Рис. 2. Термометрическая характеристика германиевого диода.

ным включением диода и большого активного сопротивления в цепь с источником постоянного напряжения. Ток, протекающий через диод, устанавливают порядка 1—2 *ма*, так как больший ток приводит к ошибке измерения температуры вследствие внутреннего разогрева диода.

Термометрические характеристики различных диодов из одного материала отличаются друг от друга на величину около 3%. При градуировке каждого диода по двум точкам можно получить большую точность. Следует отметить и хорошую линейность термометрической характеристики диода.

Действие температуры на переход эмиттер — база транзистора такое же, как на диод. Однако транзистор как датчик температуры, имеет преимущество перед диодом — он одновременно действует и как термометр, и как усилитель собственного сигнала до достаточно высокого уровня. Датчиками могут быть и германиевые, и кремниевые транзисторы. Термометрические характеристики их с небольшой погрешностью следуют линейному закону.

Постоянные времени для воздуха у диодов около 30 *сек,* у транзисторов — около 60 *сек.*

В. Медные и платиновые термометры

Действие проволочных электрических термометров сопротивления основано на зависимости сопротивления проводников от температуры.

Сопротивление проводников при нагревании увеличивается по линейному закону (для меди):

$$R=R_0+R_0\alpha(t-t_0),$$

где R_0 — сопротивление при начальной температуре t_0;
α — температурный коэффициент сопротивления проводника;
t — текущее значение температуры.

Материалом для изготовления термометров служит проволока диаметром 0,04—0,08 *мм* из меди, платины и др. Проволоку наматывают бифилярно на небольшой каркас, который помещают в защитный чехол.

Градуировочные данные отечественных термометров сопротивления медных (ТСМ) и платиновых (ТСП) приведены в табл. 1. Точность этих приборов 0,5—1%. Характеристика ТСМ наиболее близка к линейной (рис. 1).

Можно изготовить термометр сопротивления из любой металлической проволоки, но в этом случае необходима его индивидуальная градуировка, так как характеристика такого датчика будет отличаться от стандартной.

Таблица 1

Сопротивление медных и платиновых термометров сопротивления в зависимости от температуры

Обозначение типа термометра	Обозначение градуировки по ГОСТ	−50° С	0	50° С	100° С	180° С	650° С
		ом	*ом*	*ом*	*ом*	*ом*	*ом*
ТСП	20	8,0	10,0	11,97	13,91	16,954	33,325
ТСП	21	36,8	46,0	55,06	63,99	77,99	154,30
ТСП	22	80,0	100,0	119,7	139,1	169,54	333,25
ТСМ	23	41,71	53,0	64,49	75,58	93,64	—
ТСМ	24	78,70	100,0	121,3	142,6	176,68	—

Приборы ТСМ применяются для температур до 180° С, а — ТСП до 650° С.

Преимущество проволочных термометров сопротивления в том, что они взаимозаменяемы и промышленность выпускает для них различные вторичные показывающие и регистрирующие приборы. Особое внимание следует уделять соединительным проводам и переходным контактам в цепи, так как из-за изменения их сопротивления возникает значительная погрешность измерений в связи с небольшим номинальным сопротивлением датчика.

Конструкции ТСМ и ТСП разнообразны, они приведены в [Л. 1, 2].

Термометры сопротивления ТСМ и ТСП широко применяются в различных отраслях народного хозяйства.

3. ТЕРМОПАРЫ

Применение термоэлектрических датчиков (термопар) для измерения температуры основано на возникновении термо-электродвижущей силы (сокращенно термо-э. д. с.) в электрически соединенных разнородных проводниках при условии разности температур между точками их соединения. Схема термоэлектрической цепи приведена на рис. 3.

Один спай разнородных проводников *1—2* и *1—3* называется горячим или рабочим концом (*1*), а второй (*2*) холодным или свободным концом. Величина термо-э. д. с., развиваемая термопарой, зависит от материала электродов (*1—2* и *1—3*) и от разницы температур точек *1* и *2*. Поэтому при измерении температуры необходимо точку *2* поддерживать при постоянной температуре, либо применять компенсационные методы.

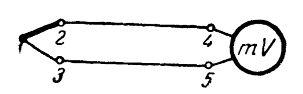


Рис. 3. Схема термоэлектрической цепи.

Если провода *2—4* и *3—5* выполнены из того же материала, что и электрод термопары *1—3*, холодный спай находится в точке *2*. Однако часто оказывается неудобным термостатировать холодный спай непосредственно возле термопары, поэтому холодный спай переносят в другую точку, например в точку *4*. Для этой цели применяют так называемые компенсационные провода, которые раз-

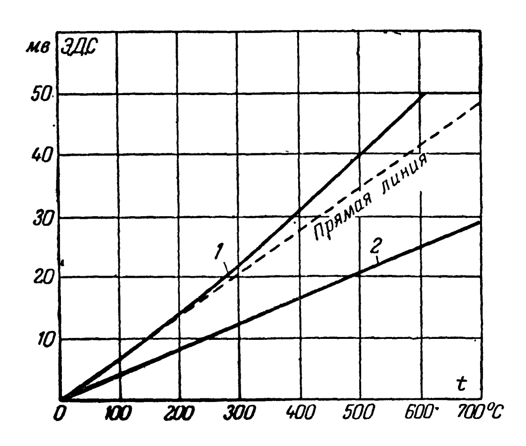


Рис. 4. Характеристики термопар градуировок ХК (*1*) и ХА (*2*).

вивают в соединении между собой термо-э. д. с., близкую к термо-э. д. с. данной термопары. Для этого лучше всего применять провода из таких же материалов, как и материалы электродов термопары, то есть провод *2—4* такой же, как *1—2*, а провод *3—5* такой же, как *1—3*.

Следует отметить, что введение любого проводника в термоэлектрическую цепь не изменяет величину термо-э. д. с., если оба конца проводника имеют одинаковую температуру.

При измерении высоких температур, когда допустима погрешность в несколько градусов, оказывается достаточным располагать холодный спай термопары в помещении с комнатной температурой, которая колеблется в небольших пределах. Холодный спай термостатируют путем помещения его в зону постоянной температуры. Иногда для этого его погружают под землю на глубину 3 *м*. Поправку на температуру термостатирования холодного спая в показывающем приборе можно делать корректировкой стрелки.

Для автоматической компенсации изменения температуры холодного спая термопары применяют различные способы, но это вносит в измерения некоторую погрешность.

Градуировочные данные термопар приведены в табл. 2. Термометрическая характеристика термопар нелинейна (рис. 4). Наилучшей равномерностью градуировки обладает хромель-алюмелевая термопара (градуировка ХА в обозначении по ГОСТ), у термопары хромель-копель (гр. ХК) характеристика значительно отличается от прямой.

Таблица 2

Перевод °С в абсолютные милливольты для термопар различных градуировок

Температура, °С	Милливольты			
	гр. ХА	гр. ХК	гр. ПП	(гр. М)*
—50	—	—3,11	—	—
—20	—0,77	—1,27	—0,109	—
0	0	0	0	0
+20	0,80	1,31	0,115	—
50	2,01	3,35	0,301	—
100	4,10	6,95	0,640	4,16
150	6,13	10,69	1,014	—
200	8,13	14,66	1,421	8,87
300	12,21	22,91	2,311	14,13
400	16,40	31,49	3,244	20,04
500	20,65	40,16	4,211	26,19
600	24,91	49,02	5,214	—
700	29,15	—	6,251	—
800	33,32	—	7,323	—
1 000	41,32	—	9,569	—
1 200	—	—	11,954	—
1 600	—	—	16,766	—

* Исключена из ГОСТ.

Типовые термопары имеют точность около 1% по отношению к стандартной градуировке, однако при малых температурах точность хуже. Более точное измерение температуры возможно при

индивидуальной градуировке термопары и термостатировании ее холодного спая.

В радиолюбительской практике можно изготавливать термопары константан — медь (гр. М), спаивая концы проволок оловом. Такие термопары можно применять до температуры 200° С. При сварке проволок температурный предел будет выше. Градуировка каждой пары должна быть индивидуальной.

Термопары обычно заключают в прочный газонепроницаемый кожух, но это увеличивает их инерционность. Для температур до 1 100° С кожух изготавливают из стали, выше 1 100° С — из кварца или керамики. Для небольших температур и неагрессивной среды термопара может быть без кожуха.

Конструкция термопар, применяемых в промышленности, и их данные приведены в [Л. 1, 2].

Последовательным включением термопар открываются новые возможности в технике измерений. Например, при встречном включении двух термопар вторичный прибор покажет разницу температур, причем в большинстве случаев не нужно термостатировать либо компенсировать изменение температуры холодных спаев, если температура их одинакова. Согласным последовательным включением термопар, помещенных в контролируемую среду как один датчик (в одном месте), достигается повышенная чувствительность измерений.

При согласном последовательном включении нескольких термопар, расположенных в различных точках одного тела, получают значение усредненной температуры тела делением суммарной величины термо-э. д. с. на число датчиков. Иногда для усреднения несколько термопар включают параллельно.

Датчики температуры всех типов следует защищать от теплового излучения для предотвращения больших ошибок при измерениях.

Глава вторая

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

4. КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМИ ДАТЧИКАМИ

Контролируемую температуру у некоторых типов электроконтактных датчиков (манометрических, ртутных и других) можно отсчитывать визуально, непосредственно по шкалам этих приборов. С помощью других типов датчиков (манометрических, биметрических и дилатометрических) возможно осуществлять лишь сигнализацию о достижении заданной температуры путем включения датчиками тех или иных сигнализирующих устройств (световых, звуковых).

Многие типы электроконтактных датчиков одновременно измеряют и сигнализируют контролируемую температуру.

Датчики с мощной контактной системой предназначены для непосредственного включения питания сигнализирующих приборов. Однако следует помнить, что срок службы контактных датчиков и их надежность можно значительно увеличить, если через их контактную систему пропускать малые токи и подавать на контакты малые напряжения для уменьшения обгорания, эрозии контактов. В этом случае следует применять усилительные устройства.

Простейшими усилителями могут служить электромагнитные реле, срабатывающие от сигналов малой мощности, например реле РП-4, РПС-4, РП-5, РП-7, РПС-7, РПС-19, у которых токи срабатывания могут быть менее 1 *ма* и напряжения срабатывания около 1 *в*. Контакты поляризованных реле допускают ток 0,2 *а* при напряжении 24 *в*. Можно применять реле с токами срабатывания 10—20 *ма* при напряжении 12—24 *в*; к ним относятся миниатюрные реле РЭС-10, РЭС-15, телефонные реле РКН и другие.

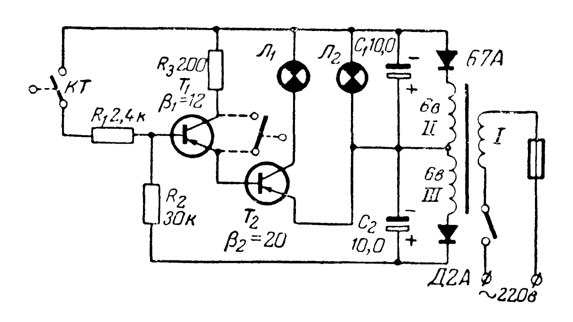


Рис. 5. Схема усилителя для электроконтактных термометров.

Вследствие наличия в цепи промежуточных контактов снижается надежность работы контролирующего устройства, поэтому больший интерес представляет применение релейных бесконтактных усилителей.

Наиболее просты усилители на транзисторах, причем часто целесообразно применять схему с составным транзистором. Тип выходного транзистора усилителя определяется видом нагрузки (реле, лампы и т. п.).

Такая схема приведена на рис. 5.

Нагрузкой усилителя служит лампа накаливания $Л_1$ (2,5 *в*, 0,16 *а*), включенная в коллекторную цепь выходного транзистора T_2 (П3В или П201), входной транзистор T_1 — маломощный (П13—П16). Для зажигания лампы $Л_1$ при замыкании контакта *КТ* датчика температуры через контакт течет ток всего лишь в 1 *ма* при указанных на схеме коэффициентах усиления транзисторов. Из схемы можно исключить первый транзистор, выполнив соединения, указанные пунктиром. В этом случае ток через контакт датчика должен быть порядка 12 *ма* при коэффициенте усиления транзистора T_2 по току 20.

Транзисторы усилителя работают в ключевом режиме. В этом режиме почти все напряжение питания оказывается приложенным к нагрузке, так как транзистор отперт.

Ток базы транзистора T_1 при замкнутом контакте KT датчика приближенно равен

$$I_б = \frac{I_н \cdot k}{\beta_1 \cdot \beta_2},$$

где $I_н$ — номинальный ток нагрузки усилителя;
β_1 и β_2 — коэффициенты усиления по току транзисторов T_1 и T_2;
k — коэффициент запаса ключевой схемы (при комнатной температуре и нормальных колебаниях питающего напряжения этот коэффициент равен 1,5).

При налаживании усилителя сопротивление R_1 можно подобрать, включив в коллекторную цепь транзистора T_2 миллиамперметр. Сопротивление R_3 ограничивающее.

При разомкнутом контакте датчика для запирания транзистора на его базу подается положительное смещение. Для смещения транзисторов используется обмотка *III* трансформатора.

Сопротивления R_1 и R_2 рассчитывают из условий:

$$R_2 \leqslant \frac{U_с}{I_{к01}}, \ I_1 = I_2 + I_б, \ R_1 \leqslant \frac{U_п}{I_1},$$

где $U_с$ и $U_п$ — напряжения смещения и питания усилителя;
I_1 и I_2 — токи через сопротивления R_1 и R_2;
$I_{к01}$ — обратный ток коллектора транзистора T_1.

Усилитель питается от однополупериодного выпрямителя, подключенного к накальной обмотке *II* трансформатора от радиоприемника «Москвич».

Лампа $Л_1$ служит для контроля температуры, а лампа $Л_2$ сигнализирует о включении прибора.

Следует отметить, что электроконтактные датчики температуры обычно применяют для автоматического регулирования с одновременной сигнализацией. В таких случаях на выход усилителя включают обмотку мощного электромагнитного реле.

5. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ДАТЧИКАМИ

В настоящее время термисторы, диоды и транзисторы находят все более широкое применение в схемах теплового контроля и измерений. Положительное свойство термисторов состоит в возможности применения для них соединительных линий с довольно большим сопротивлением, а значит большой длины.

Для измерения температуры с термисторами в основном применяют неуравновешенные мостовые схемы с однорамочными и двухрамочными магнитоэлектрическими приборами в диагонали. Вместе с этим термисторы благодаря большому температурному коэффициенту сопротивления позволяют применять в качестве вторичных приборов простые схемы омметров.

Так, в схеме, изображенной на рис. 6, в качестве индикатора использован миллиамперметр на 5 *ма*. Питание прибора осуществляется от сухого элемента напряжением 1,5 *в*. Для установки стрелки миллиамперметра на 100° шкалы при израсходовании элемента служит переменное сопротивление R_2 при положении переключателя *П* на эквивалентном сопротивлении датчика R_1 (для температуры 100° С). В качестве датчика использован термистор ММТ-4 с R_{20}=1,2 *ком*. Характер градуировки шкалы в диапазоне 0—120° С нелинейный. При измерении температур выше 100° С прибор следует включать на короткое время для избежания разогрева датчика током питания, так как при этом на нем рассеиваемая мощность доходит до 0,007 *вт*, превышая допустимое значение.

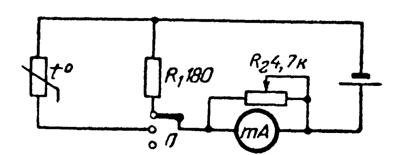


Рис. 6. Схема омметра для измерения температуры.

На рис. 7 приведена мостовая неуравновешенная схема для измерения температур в диапазоне 20—100° С при помощи термистора ММТ-1 с R_{20}=1,2 *ком*. Расчет схемы приведен в [Л. 4]. Сопротивление микроамперметра равно 920 *ом*, напряжение питания—7,1 *в*. Для стабилизации питания моста применен кремниевый стабилитрон

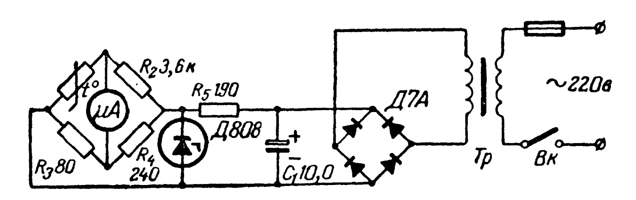


Рис. 7. Схема неуравновешенного моста с термистором.

Д808. Прибор допускает колебания напряжения сети в пределах ±15%. Трансформатор питания должен иметь вторичную обмотку на напряжение 12,6 *в*. Сопротивления R_2—R_4 проволочные (манганиновые).

Стабилизировать питание мостовой схемы можно также путем применения феррорезонансного стабилизатора напряжения.

Показанный на рис. 7 прибор позволяет измерять температуры в диапазоне 50—150° С при помощи термистора КМТ-14 (R_{20}= =35 *ком*), если в качестве индикатора применить микроамперметр на 100 *мка*, а сопротивления моста R_2, R_4 по 1 *ком* и R_3 510 *ом*.

Приборы с термисторами следует градуировать по контрольному ртутному термометру, поместив датчик в лабораторный нагревательный шкаф с терморегулятором.

Отрицательное свойство термисторов заключается в том, что их параметры имеют отклонения от номинала порядка ±20%, а взаимозаменяемость датчиков занимает важное место, особенно при централизованном контроле температур, когда при помощи од-

ного прибора измеряют температуры нескольких точек. Поэтому для идентичности градуировок либо подбирают одинаковые термисторы, либо соединяют их по два параллельно так, чтобы каждая пара термисторов имела характеристику, близкую к средней характеристике всей партии термисторов. Однако эти способы неудобны.

Для приведения тепловых характеристик термисторов одного номинала из одной партии к одному виду удобно использовать включение двух сопротивлений — одного параллельно, а другого последовательно с термистором, как показано на рис. 8.

Такой метод коррекции характеристик позволяет снизить погрешность измерения до 1,5% при отклонениях параметров термисторов от среднего значения до ±10% [Л. 4].

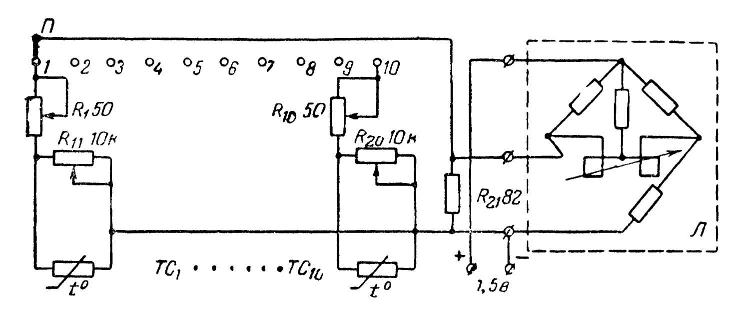


Рис. 8. Схема многоточечного прибора с логометром.

Корректировать характеристики целесообразно следующим методом. Сначала из партии термисторов отбирают экземпляры с близкими значениями сопротивления при комнатной температуре (±10%). Затем эти термисторы нагревают до максимальной температуры, при которой необходима большая точность, и путем последовательного включения с каждым термистором добавочного сопротивления добиваются равенства сопротивления всех цепей. После охлаждения сопротивления всех цепей выравнивают путем параллельного подключения к каждой цепи еще одного добавочного сопротивления. После вторичного нагрева окончательно подгоняют последовательно включенные сопротивления, которые лучше изготавливать из манганиновой проволоки. В результате температурные характеристики всех датчиков будут совпадать в двух точках и будут близки друг к другу в остальных точках.

На рис. 8 приведена схема для централизованного контроля температур [Л. 5], в которой индикатором служит профильный логометр *Л* (ЛПр-54). Это двухрамочный магнитоэлектрический прибор для измерения сопротивлений, выпускаемый приборостроительной промышленностью. Логометр работает по принципу сравнения токов обеих рамок, поэтому допускает колебания питающего напряжения до ±20%. Внутри корпуса логометра смонтирован мост, в выходную диагональ которого включены обе рамки. При разбалансе мостовой схемы стрелка отклоняется от нулевого положения.

На корпусе логометра имеются выводы для подключения питания постоянным током напряжением 1,5 *в* (для логометров

ЛПр-53 напряжение 4 *в*) и для присоединения четвертого плеча — измеряемого сопротивления. Так как логометры ЛПр-54 класса точности 1,0 выпускаются для применения с металлическими термометрами сопротивления, то шкалы их градуированы в градусах Цельсия. В приведенной схеме использован логометр с градуировкой 0 до 100° С. Стрелка прибора устанавливается на края шкалы при сопротивлениях измеряемого плеча 53 и 75,53 *ома*.

В схеме на рис. 8 применены термисторы ММТ-4 сопротивлением по 1,2 *ком*, шкала переградуирована на диапазон температур 40—120° С. В связи с этим вход логометра *Л* шунтирован манганиновым сопротивлением R_{21}. Датчики TC_1—TC_{10} можно поочередно подключать к индикатору при помощи переключателя *П*. Для кор-

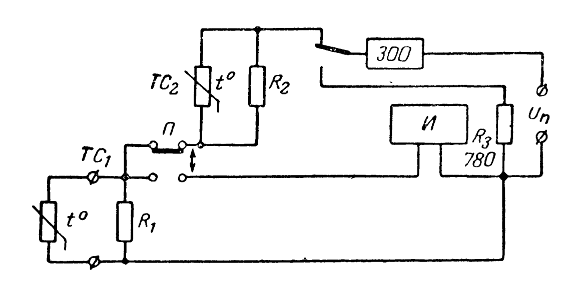


Рис. 9. Схема температурного контроля с двумя термисторами.

рекции температурных характеристик датчиков служат проволочные переменные сопротивления R_1—R_{10} (включенные последовательно) и R_{11}—R_{20} (включенные параллельно). Все элементы измерительного устройства, за исключением термисторов, смонтированы на одном основании и закрыты футляром. Методика расчета схем с логометрами приведена в [Л. 14].

Известный интерес представляют устройства температурного контроля, основанные на использовании релейного эффекта термисторов. Под релейным эффектом понимается резкое изменение тока в цепи с термистором (при стабильном напряжении питания) от изменения его параметров. При этом срабатывает электромагнитное реле. Методика расчета таких схем изложена в [Л. 4].

На рис. 9 приведена схема, в которой применено реле с сопротивлением обмотки 300 *ом* и током срабатывания 25 *ма*. Датчиком температуры служит термистор TC_1 (ММТ-1) с R_{20}=1,2 *ком*, а релейный эффект вызывается на термисторе TC_2 (КМТ-10) с R_{20}=180 *ком*, находящимся в корпусе прибора. Напряжение питания стабильное ($U_п$=27,7 *в*). Термистор ММТ-1, не имеющий релейной характеристики, периодически переключателем *П* подключается к измерительному устройству (И) для измерения температуры. В случае превышения температуры сверх 70° С на термисторе КМТ-10 возникает релейный эффект и реле срабатывает, становится на самоблокировку через сопротивление R_3 и включает сигнальное устройство, а ток из цепи термисторов выключает. Таким образом, прибор

одновременно выполняет функции измерительного и сигнального устройства для тепловой защиты оборудования.

Во всех приборах с термисторами желательно применение контуров взаимозаменяемости.

Характерная схема прибора с применением полупроводникового диода в качестве датчика приведена на рис. 10,*а* [Л. 6].

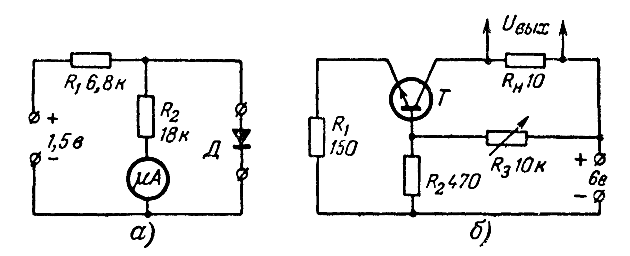


Рис. 10. Схемы измерения температуры с диодом (*а*) и транзистором (*б*) в качестве датчиков.

Этот прибор с германиевым диодом позволяет измерять температуру в диапазоне от —40 до +90° С. Индикатором служит микроамперметр на 500 *мка* с внутренним сопротивлением 2 *ком.* Применение кремниевого диода позволяет расширить диапазон измерения в сторону более высоких температур.

В схеме на рис. 10,*б* датчиком служит германиевый транзистор. В этом случае можно применить менее чувствительный индикатор, чем в предыдущем, так как выходное напряжение изменяется от 0 до 3 *в* в диапазоне температур датчика от +20 до +60° С. Сопротивление $R_н$ — нагрузочное.

6. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ С ПРОВОЛОЧНЫМИ ТЕРМОМЕТРАМИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

С проволочными датчиками сопротивления в основном применяют мостовые неуравновешенные и уравновешенные схемы с двух- и трехпроводным подключением термометра.

Как упоминалось, неуравновешенная измерительная мостовая схема с логометром в качестве показывающего прибора широко применяется в промышленности вместе с проволочными термометрами сопротивления. На рис. 8 показана такая схема с двухпроводным подключением датчика, однако с логометрами применяют и трехпроводное подключение, приведенное на рис. 11.

Трехпроводное соединение с термометром дает лучшие результаты по точности, так как в большой мере избавляет от погрешностей, связанных с изменением сопротивления соединительных проводов от температуры внешней среды. В схеме на рис. 11 два провода входят в разные печи, а третий в диагональ питания моста, поэтому изменение сопротивления проводов не вызывает изменения напряжения в выходной диагонали моста.

Почти все промышленные приборы рассчитаны на величину со противления каждого соединительного провода в 2,5 *ом*, что достигается применением добавочного подгоночного сопротивления $R_л$ для каждой линии.

Логометры выпускаются следующих типов:

ЛПр-53 с профильной шкалой для градуировок 21, 22, 23 и 24 на различные диапазоны измерения температур в пределах от —200 до +500° С, класса 1,5. Питание — от выпрямителя напряжением 4 *в*;

ЛПр-54—то же, в пределах от —200 до +150° С, взрывобезопасный, питание от сухого элемента 1,5 *в*; класс точности 1,0;

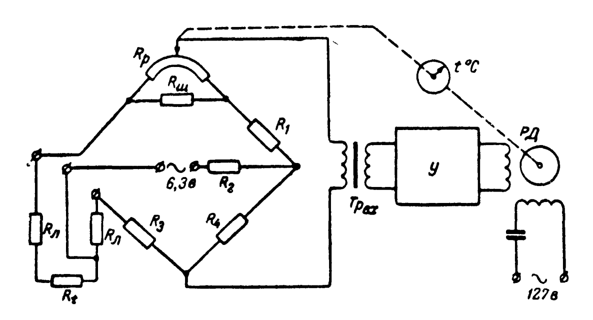


Рис. 11. Упрощенная схема автоматического уравновешенного моста переменного тока.

ЛВТ — в водозащищенном малогабаритном профильном корпусе, градуировка 21 с пределами от —50° до +500° С; класса 1,5;

ЛМ-06—то же, в круглом корпусе;

ЛР-1 — то же, что ЛПр-53, но с регулирующим фотоэлектронным двух- и трехпозиционным устройством;

ЛСЩПр-018—шеститочечный прибор, самопишущий на ленточной диаграмме шириной 120 *мм*, с двух- и трехпозиционным регулятором на 1 точку, градуировки 21, 22, 23 и 24.

Наибольшую точность измерения дают уравновешенные мосты с высокочувствительными нуль-индикаторами в выходной диагонали, работающие по нулевому методу измерения.

Мосты могут быть переменного либо постоянного тока, в зависимости от вида напряжения питания мостовой измерительной схемы.

Типовая упрощенная схема электронного автоматического уравновешенного моста переменного тока показана на рис. 11. Мост питается от обмотки трансформатора напряжением 6,3 *в*. Усилитель *У* с реверсивным двигателем РД на выходе для перемещения контакта реохорда $R_р$ представляет собой часть следящей системы прибора. Двигатель снабжен редуктором.

При определенной температуре датчика и соответствующем положении контакта реохорда мост сбалансирован и напряжение на его выходе и входе усилителя равно нулю. Если температура датчика изменится, мост окажется несбалансированным, на входе усилителя появится напряжение, которое приведет во вращение дви-

гатель *РД*, и контакт реохорда будет перемещаться до тех пор, пока не установится положение равновесия моста, после чего двигатель остановится.

В неавтоматических мостах в качестве нуль-индикатора можно использовать микроамперметр или ламповый усилитель с индикатором. Например, в одном электронном медицинском термометре в выходную диагональ моста включен усилительный каскад с лампой 6Е5С, а уравновешивается мост вручную поворотом оси потенциометра, шкала которого градуирована в °С.

Во взрывоопасных производствах применяют автоматические мосты постоянного тока. Напряжение постоянного тока, получаемое на выходе моста, преобразуют в переменное напряжение для подачи на вход усилителя, что усложняет схему и снижает надежность работы прибора. Поэтому применение мостов переменного тока предпочтительнее.

Приборостроительная промышленность выпускает показывающие, самопишущие и регулирующие автоматические электронные уравновешенные мосты переменного и постоянного токов различных типов:

ЭМД — с дисковой диаграммой диаметром 300 *мм* на продолжительность работы 24 *ч*; основная погрешность измерения не превышает ±0,5% области показаний; погрешность записи 1%, вес 35 *кг*. Выпускаются модификации приборов одноточечные с сигнализирующими и регулирующими устройствами.

ЭМП — с ленточной диаграммой шириной 275 *мм*, со скоростью протяжки ленты от 60 до 9 600 *мм/ч*. Класс точности 0,5 по измерению и по записи; вес 48 *кг*, размеры 507 × 483 × 387 *мм*, модификации те же и многоточечные.

МСР — с ленточной диаграммой шириной 160 *мм*. Класс точности 0,5 по измерению и 1,0 по записи. Размеры 330×287×399 *мм*. Модификации те же, вес 22 *кг*.

МПР — показывающие и сигнализирующие одно- и многоточечные (до 12), малогабаритные. Класс точности 1,0. Размеры 190 × × 170 × 304 *мм*, вес 12 *кг*.

ЭМВ — с вращающимся цилиндрическим циферблатом, показывающие и регулирующие одноточечные и с кнопочным переключением для поочередного подключения 12 термометров. Класс точности 0,5. Размеры 332 × 295 × 457 *мм*.

АСМ — со шкалой длиной 250 *мм*, с ленточной диаграммой на барабане с временем оборота 8,24 и 72 *ч*. Класс точности 0,5. Размеры 287 × 420 × 330 *мм*, вес не более 24 *кг*.

В мостах постоянного тока (и в потенциометрах) применяется унифицированный усилитель УЭУ-109. Усилитель мостов переменного тока отличается только отсутствием вибропреобразователя. Усилитель состоит из трех каскадов усиления напряжения и одного фазочувствительного каскада усиления мощности.

Работа усилителей автоматических уравновешенных приборов отличается рядом специфических особенностей, подробно рассмотренных в [Л. 2, 8].

Применение реохордов с контактом в некоторых производствах значительно снижает надежность прибора.

В последнее время создан ряд бесконтактных устройств повышенной надежности для измерения температуры с помощью термо-

метров сопротивления (потенциометры, мосты и преобразователи, использующие компенсационный метод измерения).

Принципиальная электрическая схема автоматического малогабаритного показывающего и регулирующего безреохордного прибора АМБ1-01 для использования с датчиком стандартных градуировок показана на рис. 12.

Измерительная часть схемы прибора состоит из неуравновешенного моста переменного тока, в одно из плеч которого включен датчик R_t. Напряжение разбаланса моста в диагонали *1—3* компенсируется напряжением с делителя R_6—R_9 вторичной обмотки индукционного линейного бесконтактного потенциометра ИПБ (ИПБ-45-1), у которого величина выходного напряжения пропорциональна углу поворота ротора. Ротор приводится во вращение от реверсивного двигателя, управляемого усилителем *У* (УПД-24).

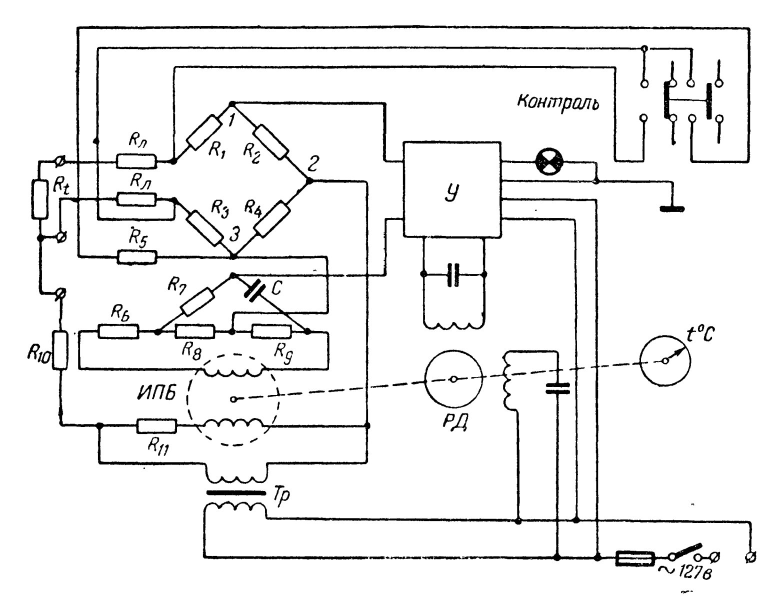


Рис. 12. Схема бесконтактного прибора АМБ-1-01.

Основная погрешность прибора не более ±1% от верхнего предела измерения. Потребляемая мощность 15 *ва*; вес 3 *кг*.

Внедрение безреохордных автоматических приборов гарантирует их длительную и надежную работу на предприятиях с агрессивными средами в химической и других специальных областях промышленности.

Для измерения соотношения двух температур два термометра сопротивления включают в разные плечи одной мостовой измерительной схемы. Так поступают, например, при измерении влажности

воздуха, когда один из датчиков покрыт смачивающейся марлей и поэтому имеет меньшую температуру, чем «сухой» датчик [Л. 5].

Вместе с термометрами сопротивления можно применять и автоматические потенциометры (описанные в следующем разделе), если термометр включить в компенсационную схему [Л. 9].

7. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ С ТЕРМОПАРАМИ

Наиболее простые вторичные приборы для применения с термопарами представляют собой пирометрические милливольтметры — чувствительные приборы магнитоэлектрической системы с малым внутренним сопротивлением, схема включения которых показана на рис. 3.

Выпускаются следующие типы милливольтметров:

ММП-054—переносный контрольный с двойной шкалой (в °С и в милливольтах), класс точности 1,0;

МПЩПр-54—стационарный, показывающий, с профильной шкалой; класс точности 1,5;

МПЩПр-018 — для измерения и записи температуры в 1—6 точках с профильной шкалой;

МР-1 — для измерения и регулирования или сигнализации отклонения от заданного значения температуры, класс точности 1,5.

Эти приборы имеют градуировки ХА, ХК и ПП-1.

Наименьший диапазон шкалы 0—300° С для градуировки ХК и 0—600° С для градуировки ХА.

Малогабаритный милливольтметр ММ-06 выполнен в круглом водозащитном корпусе, класс точности 1,5. Пределы измерения 0—1 100° С для градуировок ХК и ХА.

Чувствительность милливольтметров около 150 *мв* при сопротивлении рамки около 200 *ом.*

Внешнее сопротивление соединительных проводов от термопары до милливольтметра может быть 0,6; 5; 15 и 25 *ом* в зависимости от модификации прибора.

При применении милливольтметров холодный спай термопары либо термостабилизируют, либо последовательно с прибором включают коробку КТ-54 для автоматической компенсации температуры холодного спая. Без этих мер обходятся в тех случаях, когда колебания температуры холодного спая меньше требуемой точности измерения, либо температура спая контролируется для внесения поправки.

Наиболее точны для измерения термо-э. д. с. различные приборы, использующие потенциометрические схемы, в которых применяется компенсационный метод измерения. Сопротивление линий в этом случае может быть любым, но обычно не более 100 *ом.*

На рис. 13 показана потенциометрическая схема электротермометра [Л. 7] с термопарой, изготовленной из медного и константанового проводов ПЭЛШО 0,1 и ПЭЛШОК 0,1, для измерения температуры тела человека. Прибор градуирован в диапазоне температур от 15 до 45° С; в нем предусмотрена схемная термокомпенсация холодного спая. В зависимости от установки нулевой точки баланса моста температурной компенсации (R_1—R_4) начало шкалы может быть смещено, а в зависимости от напряжения в потенциометрической цепи (R_{13}) можно сместить конец шкалы.

Термо-э. д. с. датчика уравновешивается напряжением, снимаемым с делителя R_9—R_{10} по нуль-индикатору G чувствительностью 10^{-8} *а* на деление шкалы и сопротивлением рамки 200 *ом*. Напряжение термокомпенсации холодного спая снимается с моста R_1—R_4, где сопротивление $R_м$ медное, а остальные манганиновые.

Перед измерением температуры в положении *1* переключателя *П* реостатом R_7 стрелку миллиамперметра *mA* устанавливают на красную черту, после чего измеряемую величину сравнивают с из-

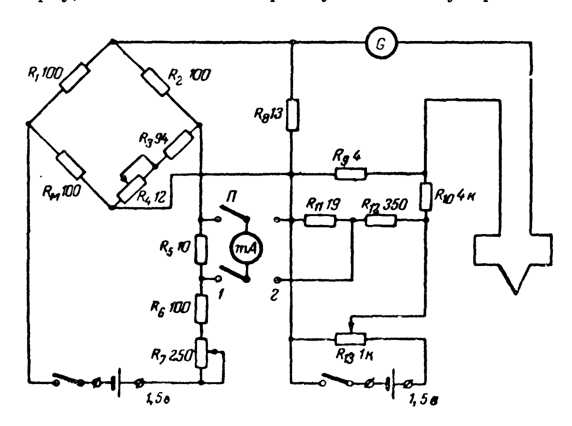


Рис. 13. Потенциометрическая схема электротермометра с ручным уравновешиванием.

вестной. Для этого в положении *2* переключателя *П* датчик помещают на место измерения температуры, ручкой потенциометра R_{13} устанавливают стрелку гальванометра на нуль и по шкале прибора *mA* отсчитывают температуру.

Промышленностью выпускаются потенциометры с ручным уравновешиванием ПП-1.

Для непрерывного контроля температуры в производственных условиях применяют автоматические электронные потенциометры. Схема такого прибора приведена на рис. 14.

Термо-э. д. с. датчика компенсируется напряжением с неуравновешенного моста, которое изменяется благодаря перемещению контакта реохорда $R_р$. Питание измерительной части прибора должно производиться стабильным напряжением, поэтому последовательно с сухим элементом *Б* включено регулируемое сопротивление R_0, величина которого по мере истощения элемента автоматически изменяется при помощи специального механизма *М*, а калибратором напряжения питания при этом служит стабильный источник — специальный нормальный никель-кадмиевый элемент *НЭ*, э. д. с. которого неизменна длительное время. Для автоматической компенсации температуры холодного спая датчика применено медное сопротивление $R_м$. Цепочка $R_ф C_ф$ служит для снижения уровня помех, наводимых в линии.

Напряжение разбаланса компенсационной части устройства с помощью контактного вибропреобразователя *ВП* преобразовывается в напряжение переменного тока, которое поступает на входной трансформатор усилителя, управляющего реверсивным двигателем *РД* привода реохорда. Усилитель переменного тока такой же, как и у автоматических мостов.

В настоящее время автоматические потенциометры модернизируются. Выпущены серии приборов, у которых питание измерительной части осуществляется от стабилизированного выпрямителя. Таким образом, отпала надобность в сухом и нормальном элементах. Вибрационный контактный преобразователь заменен бесконтактным,

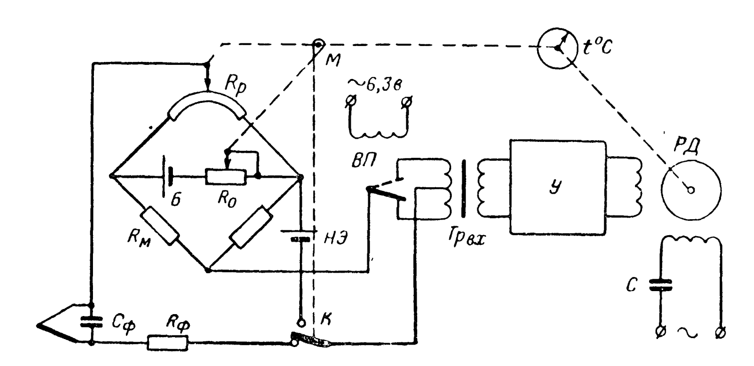


Рис. 14. Упрощенная схема автоматического потенциометра.

транзисторным. В другом случае [Л. 10] контактный потенциометр заменен бесконтактным компенсатором с датчиками Холла.

Промышленность выпускает автоматические потенциометры: ЭПД, ЭПП-09, ПСР, ЭПВ, АСП и др. Модификации и конструкции их подобны автоматическим мостам, описанным в 6-м разделе.

В некоторых случаях возникает необходимость записывать быстропеременные процессы, в частности при геофизических измерениях. Для этой цели служит разработанный [Л. 11] на полупроводниковых приборах малогабаритный автоматический компенсатор, время пробега каретки которого составляет меньше 0,2 *сек*. Схема прибора приведена на рис. 15.

Пределы измерения прибора 0—20 *мв*, основная погрешность не превышает 1% от предела измерения, питание от сети частотой 400 *гц* или от аккумулятора.

Измеряемое напряжение (или термо-э. д. с.) подается на зажимы $E_к$ и компенсируется напряжением, снимаемым с реохорда R_7. Напряжение разбаланса поступает через сопротивление R_6 на модулятор, собранный на транзисторах T_1 и T_2, коммутируемых с частотой 400 *гц*. Цепочка R_8C_2 служит для подбора фазы. Преобразованный сигнал ошибки усиливается каскадами на транзисторах T_3—T_8. Первые два каскада охвачены глубокой отрицательной обратной связью, третий и четвертый работают в режиме В по двухтактной схеме. Порог чувствительности усилителя—20 *мкв*.

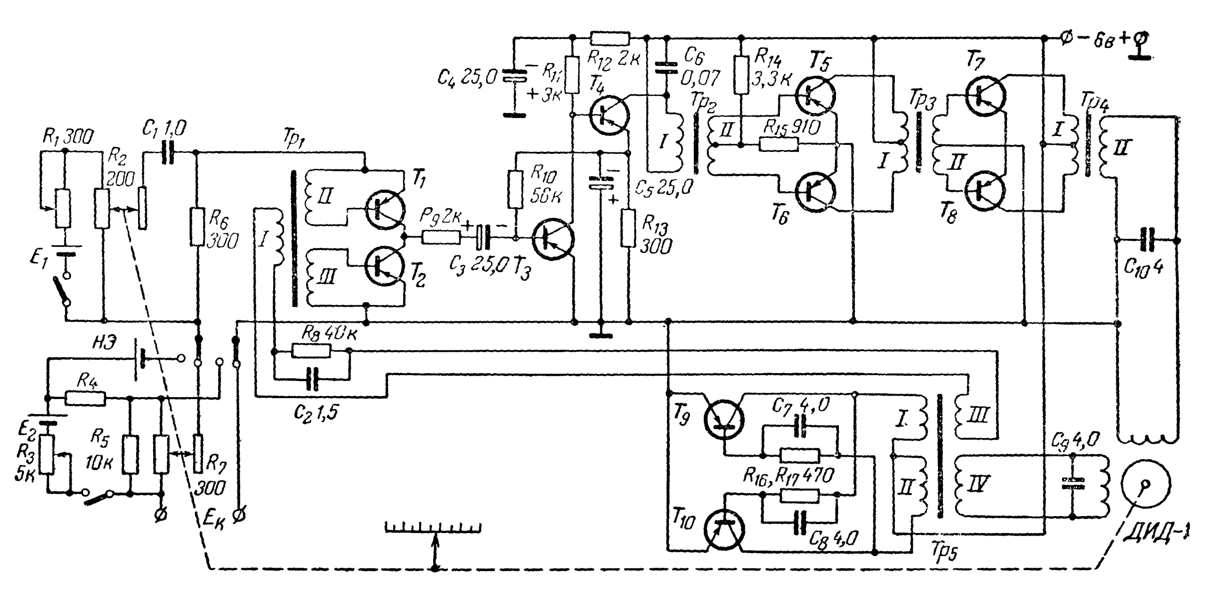


Рис. 15. Схема быстродействующего автоматического компенсатора.

Реохорд R_2 служит для упругой обратной связи, чтобы получить необходимые динамические свойства прибора.

Рабочий ток устанавливают и контролируют вручную путем сравнения с нормальным элементом *НЭ*.

Преобразователь постоянного напряжения в переменное для питания модулятора и исполнительного реверсивного двигателя ДИД-1 собран на транзисторах T_9 и T_{10}. Подбором емкости конденсатора C_9 достигается синусоидальная форма напряжения.

Каретка прибора движется по направляющим на шариковых подшипниках; для записи используется укороченная авторучка. Для перемещения диаграммной ленты использован пружинный привод.

Температура внешней среды от 0 до +40° С не влияет на параметры компенсатора.

Трансформатор Tp_1 собран на сердечнике Ш7 × 12 *мм*, обмотки *I, II* и *III* содержат по 800 витков провода ПЭЛ 0,13; трансформатор Tp_2 имеет сердечник Ш7 × 12 *мм*, обмотка *I* содержит 1 800 витков провода ПЭЛ 0,08, обмотка *II* содержит 150 × 2 витков провода ПЭЛ 0,25; трансформатор Tp_3 имеет сердечник Ш7 × 12 *мм*, обмотка *I* содержит 400 × 2 витков провода ПЭЛ 0,13, обмотка *II* содержит 12 витков провода ПЭЛ 0,27; трансформатор Tp_4 имеет сердечник Ш12 × 18 *мм*, обмотка *I* содержит 50 × 2 витков провода ПЭЛ 0,7, обмотка *II* содержит 250 витков провода ПЭЛ 0,35; трансформатор Tp_5 имеет сердечник Ш12 × 18 *мм*, обмотки *I* и *II* содержат 25 витков провода ПЭЛ 1,0, обмотка *III* содержит 30 витков провода ПЭЛ 0,1, обмотка *IV* содержит 200 витков ПЭЛ 0,35.

8. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

С ростом автоматизации производства увеличивается число точек контроля параметров процесса. В ряде случаев применение одноточечных вторичных устройств оказывается неудобным и невыгодным, а иногда и невозможным. Например, на мощной тепловой электростанции требуется несколько сотен теплоизмерительных приборов. Требования практики вызывают необходимость применять устройства централизованного контроля.

Простейшие приборы для централизованного контроля и регулирования температуры представляют собой многоточечные автоматические мосты и потенциометры. Однако такие приборы выпускают с одной шкалой, и поэтому они не могут быть использованы для точного измерения сильно различающихся температур, например 40 и 860° С, так как погрешность записи на приборе со шкалой 0—1 100° составляет ±11° С (1%).

Отечественная промышленность выпускает несколько машин централизованного контроля: Марс-300, Марс-200Р, ЭЛРУ, Зенит-2 и др. Эти устройства предназначены для измерения, цифровой регистрации, сигнализации отклонений измеряемых величин от заданных и прерывистого автоматического регулирования температуры и других неэлектрических величин. Характеристики таких машин приведены в [Л. 12].

Применение машин централизованного контроля и управления поставило вопрос о создании вторичных преобразователей для унификации сигналов датчиков различных контролируемых величин. На рекомендованный в настоящее время унифицированный сигнал

связи постоянного тока рассчитаны приборы универсальной электронной агрегатной унифицированной системы автоматического регулирования и контроля ЭАУС-У, представляющие собой группу взаимно сочетающихся устройств для различных технологических процессов [Л. 13]. На унифицированный сигнал рассчитан и ряд других устройств.

Для преобразования сигналов от термометра сопротивления в унифицированный сигнал постоянного тока 0—5 *ма* разработан нормирующий преобразователь НП-С, упрощенная схема которого показана на рис. 16.

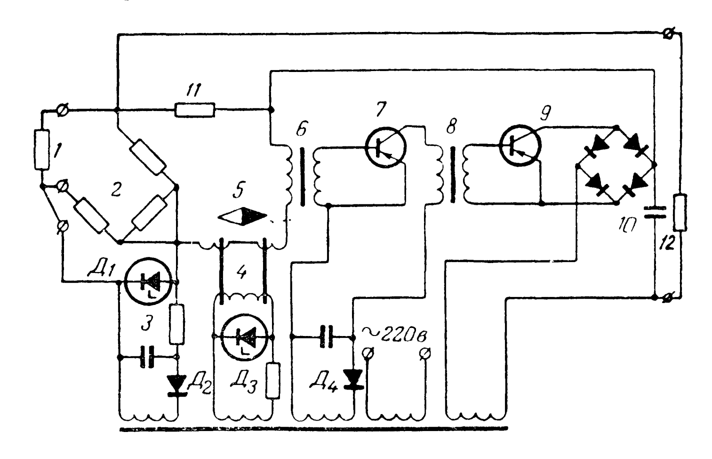


Рис. 16. Упрощенная схема нормирующего преобразователя НП-С.

Преобразователь содержит измерительный неуравновешенный мост *2*, питаемый от источника стабилизированного напряжения *3*. В одно из плеч моста по трехпроводной линии включен термометр *1*. Выходное напряжение измерительного устройства компенсируется путем применения глубокой обратной связи частью выходного напряжения усилителя, а на вход усилителя подается разность между напряжением моста и обратной связи. Таким путем при большом коэффициенте усиления обеспечивается точное соответствие между сопротивлением датчика и выходным током преобразователя.

Первый каскад усилителя — магнитный модулятор *4* выполнен на броневом сердечнике. Первичная обмотка модулятора питается импульсами постоянного тока от опорного диода $Д_3$. При настройке каскад балансируют магнитной стрелкой *5*. При появлении в управляющей обмотке постоянного тока нарушается баланс и на первичной обмотке входного трансформатора *6* появляется переменное напряжение, которое усиливается транзисторным каскадом *7* и через трансформатор *8* поступает на оконечный усилитель-демодулятор *9*. Выходное напряжение постоянного тока оконечного каскада фильтруется конденсатором *10* и через сопротивление обратной связи *11* поступает на нагрузку *12*.

Преобразователь применяется с любыми термометрами сопротивления и имеет следующие данные: сопротивление одной жилы линии связи с термометром не более 50 *ом*, сопротивление нагрузки до 2 500 *ом*, основная погрешность—0,5%.

Промышленностью освоен нормирующий преобразователь НП-Т, который обеспечивает пропорциональность между выходным током и э. д. с. термопары. Упрощенная схема его подобна схеме, изображенной на рис. 16, но измерительное устройство такого же типа, как на схеме, приведенной на рис. 17. Преобразователь НП-Т имеет следующие данные: номинальный входной сигнал 0—10 и 0—50 *мв*, сопротивление линии связи вместе с термопарой не более 50 *ом*, основная погрешность преобразования 1 и 0,5%.

На рис. 17 показана принципиальная схема преобразователя НТ-Т-62. Термо-э. д. с. датчика (T) включена последовательно с напряжением измерительного моста для компенсации влияния холодного спая термопары и смещения «нуля» прибора. Мост питается от стабилизированного опорным диодом $Д_1$ напряжения постоянного тока. Навстречу результирующему напряжению измерительного устройства включено напряжение обратной связи с сопротивления R_{16}.

У преобразователя ПТ-Т-62 демодуляция осуществляется диодами $Д_{11}$ и $Д_{12}$, так как появление входного сигнала переменного тока на входе транзистора T_2 вызывает увеличение тока в цепи одного диода и уменьшение тока в цепи другого, что приводит к появлению выходного тока в цепи нагрузки $R_н$.

Сопротивления R_2 и R_{13} медные для термокомпенсации. Сопротивления R_3—R_{12} манганиновые подгоночные, сопротивление R_8 для корректировки нуля.

Преобразователь ПТ-Т-62 имеет следующие данные: выходной ток 1—5 *ма*; различные модификации прибора имеют диапазоны температур от —50 до +600° С градуировки ХК, от 0 до 1 100° С градуировки ХА, от 0 до 1 600° С градуировки ПП; сопротивление нагрузки 2,5—3,5 *ком*; основная погрешность для диапазона 6—18 *мв*—1,5%, а для диапазона 30—50 *мв*—0,5%.

В выходную цепь нормирующих преобразователей включают показывающие магнитоэлектрические приборы и другие устройства.

Приборостроители разработали ряд преобразователей с функциональными устройствами, дающими линейную зависимость между выходным током и температурой (в приборах НП-Т-62 ток пропорционален термо-э. д. с., а не температуре).

На рис. 18 показана схема усилителя малых сигналов постоянного тока для диапазона 0—15 *мв*. Этот прибор можно использовать для измерения э. д. с. термопары [Л. 21]. Основная погрешность прибора 1%, дополнительная — при колебаниях напряжения питания (от —15 до +10%) и температуры воздуха (от 15 до 50° С) составляет 1%.

Усилитель содержит преобразователь постоянного тока в переменный (50 *гц*), выполненный на транзисторном ключе (T_1) с модуляцией от электрической сети, пять усилительных каскадов и транзисторный демодулятор (T_7).

При эксплуатации некоторых ответственных промышленных установок возникает необходимость индикации какого-либо параметра на цифровом табло, доступном для обозрения со всей площади

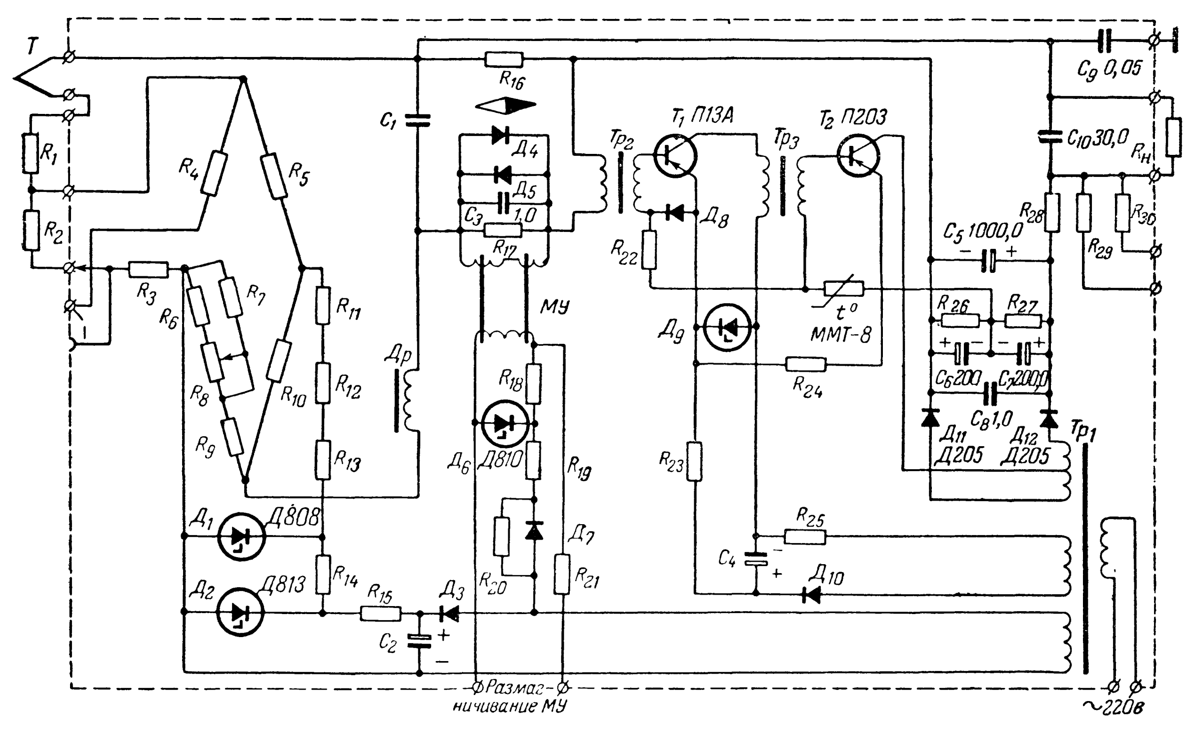


Рис. 17. Схема нормирующего преобразователя ПТ-Т-62.

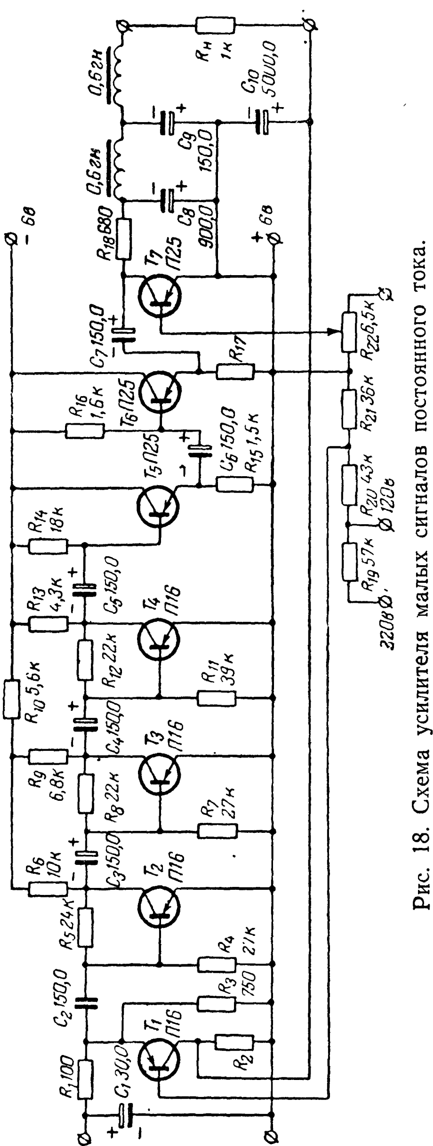


Рис. 18. Схема усилителя малых сигналов постоянного тока.

рабочего места обслуживающего персонала. Такую задачу выполняют цифровые приборы и преобразователи.

Для этой цели в ЦКТИ им. И. И. Ползунова автором разработан экспериментальный цифровой преобразователь ФЦП-1, преобразующий показания типовых электронных самопишущих приборов (ПС, МС, ДС и др.) в цифровую десятичную форму с индикацией на световом табло с лампами накаливания.

Устройство состоит из фотоэлектрического преобразователя положения выходного вала самопишущего прибора *1* в цифровой код, управляющей схемы *2* и табло *3* (рис. 19).

Принципиальная схема устройства приведена на рис. 20.

Фотоэлектрический преобразователь и управляющее реле P_1 смонтированы на одном основании *3*, прикрепленном винтами к имеющимся отверстиям в типовом самопишущем приборе *1*; кодовый диск *2* надет на выходной вал прибора и прикреплен стопорными винтами, как показано на рис. 21.

Фотоэлектрический преобразователь прибора предназначен для преобразования измеряемой типовым прибором величины в число-импульсный код, что достигается благодаря появлению импульсов тока в цепи с фотодиодом при освещении и затемнении его во время вращения кодированного диска из нулевого положения.

Кодированный диск имеет прорези для получения световых импульсов от лампы *Л*.

Преобразование происходит прерывистым способом через определенные интервалы времени (например, 1 *мин*), причем во время интервала выход фотодиода отключен и цифра на табло остается неизменной. Для этого управляющая схема содержит релаксационный генератор импульсов (автоматическое реле времени P_3), который через время каждого интервала с помощью реле P_1 сбрасывает показания прибора на нуль и снова включает прибор и фотодиод в рабочее положение. После времени успокоения стрелки прибора выход усилителя фотодиода отключается, а прибор продолжает нормально работать.

Установка вала и стрелки измерительного прибора на нулевое

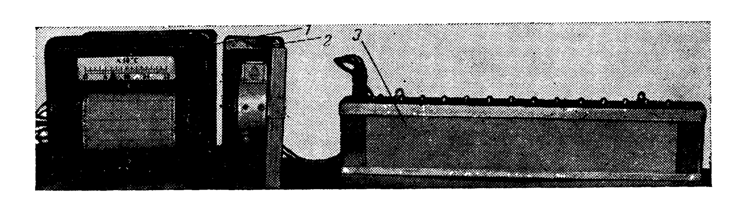


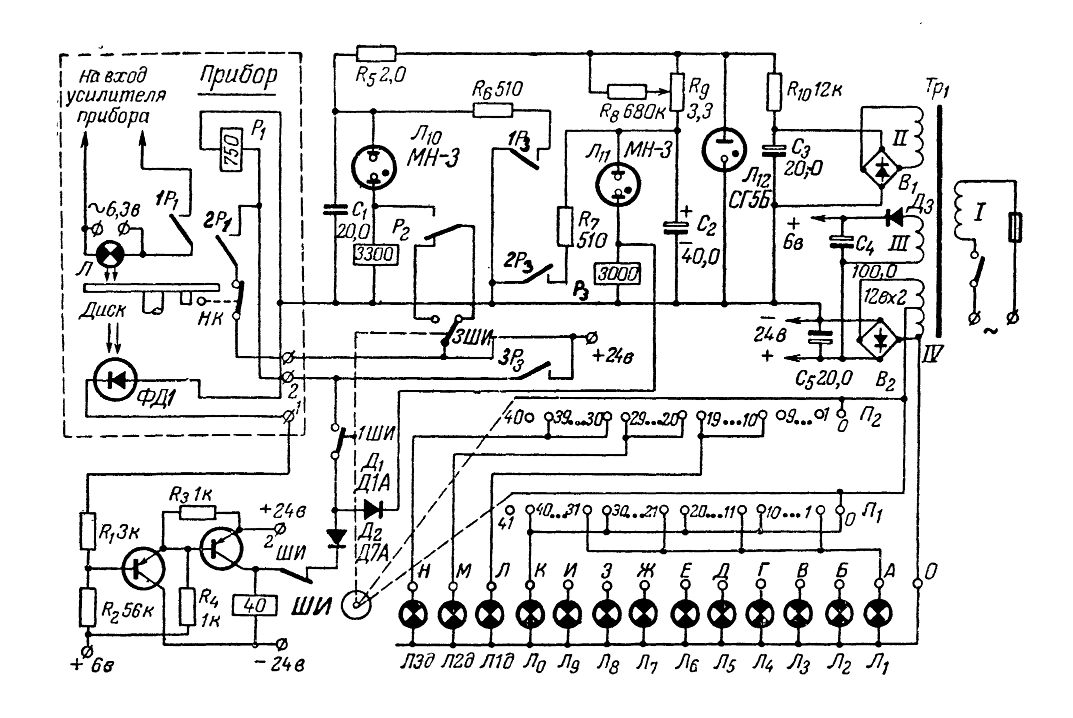
Рис. 19. Комплект устройства с фотоэлектронным преобразователем ФЦП-1.

положение получается при подаче переменного напряжения на вход электронного усилителя этого прибора с помощью контакта реле P_1. Когда управляющая схема выключит реле P_1, стрелка прибора установится в положение, соответствующее измеряемой величине.

За время, когда стрелка прибора проходит от нуля до нормального положения, с фотодиода ФД поступают импульсы тока через релейный усилитель на обмотку шагового искателя *ШИ* (ШИ-50/4). Число импульсов соответствует углу поворота вала прибора, т. е. показанию измерительного прибора. Таким образом, положение контактных щеток шагового искателя зависит от измеряемой величины. Шаговый искатель служит простым дешифратором цифрового кода. Для этого определенные ламели искателя соединены с соответствующими лампами цифрового табло.

Число прорезей на кодовом диске для данной схемы не должно превышать 50 (по числу шагов искателя). Например, если шкала градуирована от 0 до 50° С (или до 500° С), то при 50 прорезях в диске *1*, *11*, *21*, *31*, *41* ламели первого ряда переключателя $П_1$ искателя соединяются с лампой $Л_1$ табло, освещающей цифру 1 единиц (или десятков), ламели от *10* до *19* второго ряда переключателя $П_2$ соединяются с лампой *Л1д*, освещающей цифру 1 десятков (или сотен), а ламели от *20* до *29* соединяются с лампой *Л2д*, освещающей цифру 2 десятков (или сотен) и так далее. При пределе шкалы до 50 дискретность преобразования равна единице величины, при пределе шкалы до 500 дискретность равна десяти единицам (последний нуль на табло должен в этом случае освещаться постоянно.

Цифровое табло при использовании шагового искателя в качестве дешифратора получается простым, каждая лампа освещает одну цифру. Для лучшего освещения цифру освещают двумя после-


На вход усилителя прибора
Прибор
750
P_1
~6,3в
$1P_1$
$2P_1$
Л
Диск
НК
ФД1
R_5 2,0
R_6 510
$Л_{10}$ МН-3
C_1 20,0
3300
P_2
$1P_3$
$2P_3$
$3P_3$
P_3
R_7 510
$Л_{11}$ МН-3
3000
R_8 680к
R_9 3,3
C_2 40,0
$Л_{12}$ СГ5Б
R_{10} 12к
C_3 20,0
$Тр_1$
II
B_1
$Д_3$
+6в
C_4 100,0
III
I
12в×2
−24в
+
C_5 20,0
B_2
IV
3ШИ
+24в
1ШИ
$Д_1$ Д1А
$Д_2$ Д7А
R_1 3к
R_2 56к
R_3 1к
R_4 1к
+24в
ШИ
40
ШИ
+6в
−24в
40 39...30 29...20 19...10 9...1 0 $П_2$
41 40...31 30...21 20...11 10...1 0 $Л_1$
Н М Л К И З Ж Е Д Г В Б А О
$Л3д$ $Л2д$ $Л1д$ $Л_0$ $Л_9$ $Л_8$ $Л_7$ $Л_6$ $Л_5$ $Л_4$ $Л_3$ $Л_2$ $Л_1$

довательно включенными лампами на напряжение 6,3 *в*. Табло удобно для наблюдения с расстояния не ближе 2 *м*, так как расстояние между цифрами десятков и единиц на табло переменное в зависимости от положения диска преобразователя.

Последовательность работы управляющей схемы следующая. После включения прибора начинает заряжаться конденсатор C_2, и через интервал времени 1 *мин* конденсатор разрядится по цепочке неоновая лампа $Л_{11}$ — реле P_3. Контакт $3P_3$ (реле P_3) подает питание на обмотку реле P_3 через контакт *1ШИ*. Диод $Д_1$ и реле P_3

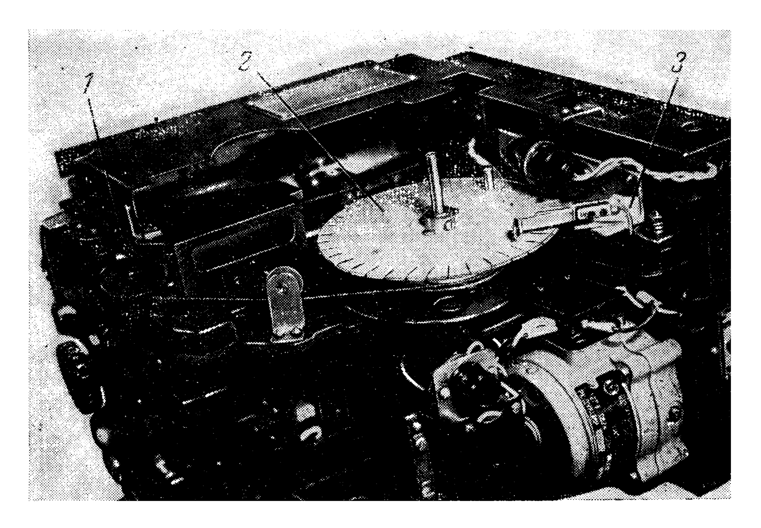


Рис. 21. Внешний вид фотоэлектрического преобразователя положения вала в измерительном приборе.

останутся включенными, пока шаговый искатель не займет нулевое положение благодаря прохождению тока через контакт *1ШИ* (разомкнут только в нулевом положении) и контакт обмотки *2ШИ* (пульс-пара). Одновременно контакт $3P_3$ подает питание на реле P_1, которое сбрасывает показание измерительного прибора на нуль и благодаря своему контакту $2P_1$ остается включенным после размыкания контакта $3P_3$ до сброса на нуль (контакт *НК* размыкается в нулевом положении штифтом кодового диска).

После сброса на нуль шагового искателя питание с обмотки реле P_3 контактом *1ШИ* снимается и конденсатор C_2 вновь заряжается. После сброса стрелки измерительного прибора на нуль она вновь продвигается к положению, соответствующему измеряемой величине. В это время импульсы тока от фотодиода через усилитель поступают на шаговый искатель — происходят процессы преобразования и дешифровки. Через 12 *сек* после нулевого положения зарядится конденсатор C_1 и разрядится через реле P_2. Перекидной контакт реле P_2 подает питание на обмотку реле P_2, и она останется

во включенном состоянии. При этом снимается питание с усилителя импульсов и цифра на табло «застывает» до тех пор, пока через 1 *мин* не произойдет очередной сброс на нуль всей системы.

Время срабатывания реле P_2 времени принято равным 12 *сек* из расчета, что время сброса прибора на нуль составляет около 2 *сек*, а время прохождения стрелкой измерительного прибора всей шкалы из нулевого положения — менее 10 *сек*.

Весь процесс непрерывно повторяется через время интервала (1 *мин*).

Упрощенный вариант преобразователя может не иметь второго реле времени ($Л_{10}$ и P_2). Это целесообразно при интервалах времени «мигания» меньше 1 *мин*.

Время интервала можно изменить поворотом движка переменного сопротивления R_9.

При помощи цифрового преобразователя ФЦП-1 проверялась работа «мигающего» табло через различные промежутки времени для проверки реакции воздействия на оператора.

Релейный усилитель содержит транзисторы П203 и П13 с коэффициентом усиления 60 и 50 соответственно. Сопротивление обмотки шагового искателя — 40 *ом*, реле P_3 — типа РКМ № РС4-503-864, реле P_2 — типа РКМ № РС4-500-894, реле P_1 — типа РСМ-3. Выпрямитель B_1 питания реле времени собран на диодах Д7В, выпрямитель B_2 питания цепей шагового искателя и реле собран на диодах Д302, диод $Д_3$ Д2А служит для получения напряжения смещения для усилителя.

Трансформатор питания имеет сердечник из пластин Ш-25, толщина набора 30 *мм*. Обмотка *I* содержит 1 540 витков (провод ПЭЛ-0,3); обмотка *II* — 1 550 витков (провод ПЭЛ-0,1); обмотка *III* — 45 витков (провод ПЭЛ-0,1); обмотка *IV* — 170 витков (провод ПЭЛ-1,0).

Управляющая схема с шаговым искателем и блоком питания смонтирована в одном корпусе размерами 280×140×200 *мм* и соединена с фотоэлектрическим преобразователем четырехжильным кабелем со шланговым разъемом. Цифровой преобразователь смонтирован рядом с измерительным прибором. Цифровое табло устанавливают в месте, удобном для обзора, и соединяют с преобразователем многожильным кабелем со шланговым разъемом.

Глава третья

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

9. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЕГУЛЯТОРА

Системой автоматического регулирования называется замкнутая динамическая система, в которой поддерживается заданное постоянное значение или изменение по заданному закону величины, характеризующей какой-либо процесс.

Регулирование называется программным, если задание регулируемой величины изменяется во времени; зависимым, если регули-

руемая величина изменяется в функциональной зависимости от другой величины; следящим, если регулируемая величина изменяется в соответствии с изменением другой величины.

При автоматическом регулировании температуры объектом регулирования является установка (камера, аппарат, деталь), в которой регулятор поддерживает задаваемое значение температуры путем подачи нагревающего или охлаждающего агента.

Типовая структурная схема системы автоматического регулирования (САР) температуры приведена на рис. 22.

Температура при помощи датчика *ДТ* передается измерительному устройству *ИУ*, где происходит сравнение температуры с заданным значением (уставкой) с помощью задатчика температуры

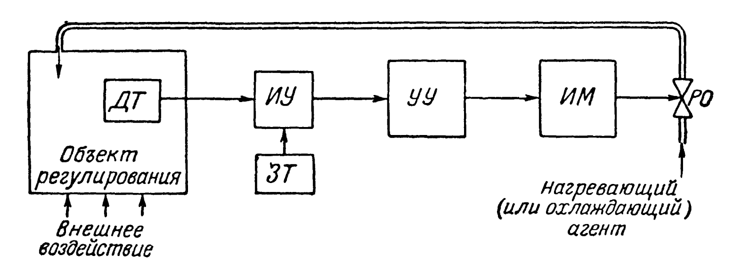


Рис. 22. Структурная схема САР температуры.

ЗТ. Измерительное устройство в случае отличия температуры от заданной выдает сигнал рассогласования на усилительное устройство *УУ*, которое управляет исполнительным механизмом *ИМ*.

Исполнительный механизм управляет регулирующим органом *РО*, изменяющим поступление нагревающего или охлаждающего агента (электрического тока, газообразных или жидких веществ) в объект регулирования в соответствии с сигналом, получаемым от усилителя прибора.

Различают регуляторы прямого действия, получающие энергию для управления регулирующим органом от регулируемой среды, и регуляторы непрямого действия, потребляющие энергию от постороннего источника; к последним относятся электрические регуляторы.

Объект регулирования характеризуется следующими свойствами:

емкостью — аккумулирующей способностью объекта накапливать тепловую энергию;

самовыравниванием — способностью объекта самостоятельно, без регулятора, стремиться к некоторому установившемуся значению температуры;

запаздыванием — временем, требующимся для изменения температуры объекта после изменения поступления к нему энергии;

постоянной времени и временем разгона — изменением регулируемой величины во времени при изменении заданного значения температуры.

Обычно регулятором называют совокупность всех приборов системы автоматического регулирования. Иногда регулятором назы-

вают регулирующий прибор, т. е. совокупность измерительного устройства с датчиком и усилителем. Отдельно выделяют исполнительные механизмы и органы регулирования.

Регуляторы могут иметь различные зоны нечувствительности (иначе дифференциалы), т. е. диапазоны отклонения температуры объекта от заданного значения, не вызывающие изменения состояния (положения) регулирующего органа. Погрешностью регулятора называется разность между заданным и действительным значением регулируемой величины.

Регуляторы также характеризуются запаздыванием, т. е. временем между изменением регулируемой величины и началом изменения положения регулирующего органа.

По принципу работы электронные регулирующие приборы разделяются на приборы непрерывного и позиционного действия. У регулирующих приборов непрерывного действия сигнал на выходе усилителя находится в определенной зависимости от сигнала на выходе измерительного устройства. Позиционные приборы могут быть двух- и трехпозиционными.

Сигнал на выходе двухпозиционного прибора имеет два значения: «открыто-закрыто» или «да-нет»; в приборах с релейным выходом это означает либо включение, либо выключение реле.

Сигнал на выходе трехпозиционного прибора имеет три значения: «больше-норма-меньше», или «вперед-стоп (или нейтраль)-назад». В приборах с релейным выходом обычно первой позиции соответствует включение одной группы контактов, второй позиции — выключение всех рабочих контактов, третьей позиции — включение другой группы контактов.

С электронными регулирующими приборами применяются в основном электрические исполнительные механизмы, которые классифицируются по назначению, характеру действия, скорости движения выходного элемента, по системе управления электродвигателем, по исполнению. Они делятся на две основные группы — электромагнитные и электродвигательные [Л. 16]. К электромагнитным исполнительным механизмам относятся соленоидные приводы клапанов, вентилей, заслонок и т. п. К электродвигательным исполнительным механизмам относятся электродвигатели с редуктором для уменьшения числа оборотов и увеличения вращающего момента.

По характеру действия исполнительные механизмы делятся на непрерывного, двух- и многопозиционного действия.

Промышленностью выпускаются различные типы исполнительных механизмов: соленоидные двухпозиционные вентили СВА и СВФ с отверстиями от 10 до 40 *мм*^{2} для аммиака и фреона. Они срабатывают от переменного напряжения 220 и 380 *в* или постоянного напряжения 110 и 220 *в*. Режим работы длительный, потребляемая мощность до 30 *вт* [Л. 3].

Двухпозиционный исполнительный механизм *ДР* представляет собой электродвигатель с редуктором и блокирующим устройством. При замыкании минимального контакта регулирующего прибора двигатель включается и вращается до конечного положения выходного вала; при этом цепь питания остается включенной независимо от состояния контакта регулирующего прибора. После этого двигатель готов к включению на вращение в обратную сторону максимальным контактом регулирующего прибора. Время половины оборота выходного вала — 30 *сек.*

Исполнительный механизм пропорционального регулирования ПР представляет собой реверсивный электродвигатель с редуктором и ограничивающими конечными выключателями с поворотом вала до 180°. Двигатель ПР вращается, пока включены контакты регулирующего прибора.

Для работы совместно с регулирующими приборами ЭР-Т, ЭР-С и другими предназначены колонки дистанционного управления КДУ различных модификаций. Предельный угол поворота их выходного вала 90°. Двигатель реверсивный асинхронный, редуктор червячный.

Исполнительный механизм БИМ — бесконтактный; электродвигатель реверсивный, скорость его вращения меняется в зависимости от величины управляющего сигнала магнитного усилителя. Угол поворота выходного вала редуктора — 120°.

10. СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

По характеру воздействия на объект регуляторы делятся на непрерывного и прерывного или позиционного действия.

Понятие «регулятор» не нужно смешивать с понятием «регулирующий прибор». Например, трехпозиционный регулирующий прибор, включающий исполнительный механизм в состояние «прибавить», когда температура датчика меньше заданной, или в состояние «убавить», когда температура больше заданной, и не изменяющий положения исполнительного механизма, когда температура равна заданной, может обеспечить непрерывное регулирование при использовании исполнительного механизма (например, электродвигателя), который может придать регулирующему органу любое положение между двумя крайними.

Качество регулирования температуры определяется величиной отклонения регулируемой величины Δt (рис. 23) от заданного значения при различных возмущающих воздействиях: от изменения давления пара, которым обогревается объект, от температуры среды, окружающей объект, и т. п. Качество регулирования зависит от нескольких причин, например от величины запаздывания $T_з$ и от постоянной времени $T_в$, показанных на рисунке.

Регулирующими органами при применении в качестве носителей энергии различных веществ служат всевозможные вентили, клапаны и задвижки с приводом от различных исполнительных механизмов. Наиболее распространенные из них — электрические.

Регулирующий орган у регулятора непрерывного действия в состоянии равновесия может занимать любое положение между двумя крайними, пропуская в объект любое количество энергии. Регуляторы непрерывного действия могут быть статические (пропорциональные), астатические, изодромные и другие.

На рис. 23 кривая *1* показывает изменение температуры объекта после включения в начальный момент времени статического регулятора, который характеризуется тем, что отклонение регулируемой температуры от заданного значения Δt_1 зависит от нагрузки объекта. Чем больше отличается регулируемая величина от заданной, тем больше энергии пропускает регулятор в объект. У данного регулятора для получения большей температуры объекта величина рассогласования Δt_1 будет больше, чем для более низкой температуры.

Кривая 2 представляет характеристику интегрального (астатического) регулятора с уставкой t_2, который отличается тем, что в состоянии равновесия величина рассогласования равна нулю и не зависит от нагрузки объекта.

Регулятор двухпозиционный имеет характеристику, представленную кривой 3. В то время когда температура датчика ниже заданной t_3, регулятор подает энергию в объект и температура объекта возрастает. В момент времени, когда температура датчика превышает заданную, регулятор прекращает поступление энергии и под воздействием внешней среды температура объекта снижается по отношению к заданной. Затем процесс повторяется. Характеристика может быть симметричной и несимметричной в зависимости от свойств системы.

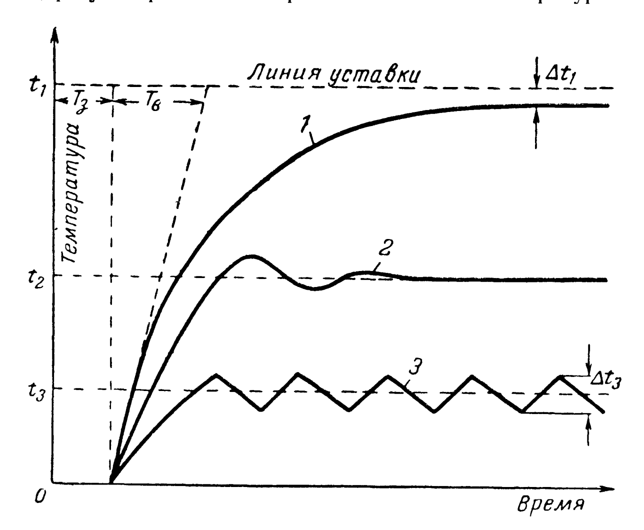


Рис. 23. Характеристики процессов регулирования.

На рис. 24 приведена схема непрерывного пропорционального регулятора температуры маломощного термостата, предназначенного для помещения холодного спая термопар. Датчиком температуры камеры термостата служит транзистор T_1, а задатчиком — сопротивление R_5, питаемое напряжением от стабиливольта $Л_2$. Сигнал разбаланса усиливается пентодом, служащим регулирующим органом. Тепло в камере выделяется вследствие тока, протекающего по сопротивлениям R_1 и R_2, обогревающего камеру до 40° С при окружающей температуре от 5 до 30° С. Ток анода лампы $Л_1$ тем больше, чем больше рассогласование между напряжением уставки и напряжением, снимаемым с датчика температуры камеры, из-за повышения потенциала сетки пентода. В начале работы после включения термостата пентод отперт до насыщения большим напряжением на сетке. Затем по мере обогрева камеры пентод входит в усилительный режим и осуществляет регулирование [Л. 17].

На рис. 25,*а* приведена схема системы двухпозиционного регулирования температуры матрицы пресса *1*. Датчик температуры $ДТ_1$ воздействует на регулирующий прибор *2*, который в зависимости от того, больше или меньше температура заданного значения, выключает или включает напряжение на электроподогреватель $ЭН_1$. Характер регулирования показан на рис. 23 (кривая *3*). Величина колебания температуры $\Delta t_з$ от заданного значения зависит от постоянной времени $T_в$ и запаздывания $T_з$, т. е. от свойств объекта регулирования. Регулирование тем хуже, чем больше запаздывание.

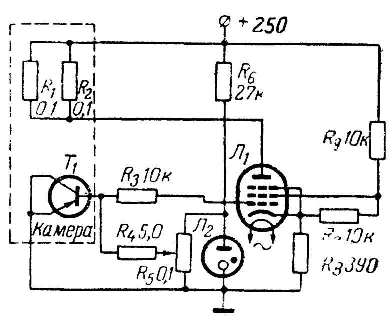


Рис. 24. Схема непрерывного регулятора.

Благодаря своим достоинствам (простота конструкции, надежность, дешевизна) двухпозиционные регуляторы находят широкое применение.

Улучшение качества двухпозиционного регулирования может быть получено без изменений структурной схемы путем уменьшения времени запаздывания, уменьшения зоны нечувствительности, уменьшения притока и оттока и др. [Л. 18]. Кроме этого, улучшение качества регулирования может быть получено путем применения прерывистого регулирования и введения обратных связей.

Прерывистое регулирование получают путем принудительного разрыва цепи регулятора с определенной частотой и временем включения цепи. Прерывистое регулирование с двухпозиционным прибором осуществляется подобно схеме прерывистого регулирования с трехпозиционным прибором, показанной на рис. 25,*б*.

При применении обратных связей получают двухпозиционно-статическое, двухпозиционно-изодромное и другие виды регулирования. Двухпозиционно-статическое регулирование получают при выполнении части схемы на рис. 25,*а*, показанной пунктиром, где $ДТ_2$ и $ЭН_2$ — датчик температуры и нагреватель малоинерционного корректирующего устройства (термическая обратная связь).

Колебания температуры объекта происходят из-за того, что простой двухпозиционный регулятор «почувствует» включение нагревателя только по прошествии времени запаздывания $T_з$, однако за это время будет подано слишком много энергии, вследствие чего температура превысит заданную. В случае применения описанной выше термической обратной связи регулирующий прибор будет раньше отключать нагреватель и колебания в большей мере будут обусловливаться не параметрами объекта, а параметрами цепи обратной связи.

Колебания в регуляторе с обратной связью будут происходить быстрее. Но это не всегда приемлемо с точки зрения работы исполнительных органов регулятора.

Лучшее качество регулирования по сравнению с двухпозиционным получают с помощью трехпозиционного регулирующего прибо-

ра 2, управляющего электромоторным вентилем *В*, положение которого определяет количество поступающего в калорифер пара для обогрева сушильной камеры, как показано на рис. 25,*б*. Направление вращения вентиля определяется позициями выхода прибора («больше» или «меньше»). В нейтральной позиции выхода прибора, соответствующей моменту равенства температуры датчика *ДТ* заданному значению, реверсивный электродвигатель *РД* вентиля не включается и вентиль неподвижен. Таким образом, вентиль *В* может занимать любое положение между «закрыто» и «открыто». Такое регулирование по характеристикам приближается к непрерывному в случае применения обратной связи, например термической.

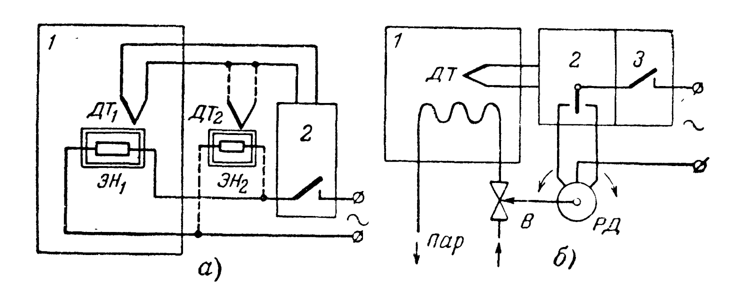


Рис. 25. Схемы автоматического регулирования.
а — двухпозиционного, *б* — трехпозиционного прерывистого.

Запаздывание в регуляторе без обратной связи приводит в ряде случаев к появлению значительных колебаний регулируемой температуры.

На рис. 25,*б* показана система прерывистого регулирования с трехпозиционным электронным прибором *2* и принудительным прерывателем *3*, обладающая улучшенными качествами по сравнению с простым трехпозиционным.

Комбинацию трехпозиционного переключающего устройства и исполнительного двигателя иначе называют двухскоростным (двухходовым) регулятором.

В результате рассмотрения различных схем следует отметить, что схема прерывистого регулирования не только обладает повышенным качеством, но и дает возможность при помощи одного прибора осуществить многоточечное регулирование. При большой инерционности объекта характеристика многоточечного регулирования мало отличается от характеристики одноточечного.

Однако с помощью улучшенных типов описанных регуляторов не всегда можно достичь желаемых результатов. В этом случае следует применять промышленный регулятор, обеспечивающий необходимый закон регулирования (ПИ — пропорционально-интегральный, ПИД — с введением сигнала по производной, ПД — пропорционально-дифференциальный и др.).

Если возникает надобность в программном регулировании, тогда для перемещения задатчика температуры регулирующего прибора

применяют специальные задающие устройства, которые могут быть непрерывного и дискретного типа, механические, электрические и др. [Л. 19]. Простейшее задающее устройство представляет собой часовой механизм. Удобен механизм от привода самопишущих измерительных приборов. В качестве дискретного задающего устройства в [Л. 20] описан шаговый искатель с приводом от источника импульсов — электроконтактных часов. Промышленностью выпускаются электронные задающие устройства с записью программы на ленточной диаграмме РУ-05, а с заданием программы профильным кулачком выпускается ряд различных регулирующих приборов.

11. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ПРИБОРЫ ПОЗИЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ

В качестве простейших регулирующих приборов позиционного действия применяют электроконтактные датчики температуры, описанные в первой главе, включаемые в систему автоматического регулирования, показанную на рис. 25.

Двух- и трехпозиционные регулирующие устройства имеются у многих модификаций вторичных измерительных приборов, работающих в комплекте с термопарами и термометрами сопротивления.

На рис. 26 показана принципиальная схема выпускаемого промышленностью регулирующего милливольтметра МР1-02 магнитоэлектрической системы с двухпозиционным фотоэлектрическим устройством, предназначенного для измерения и автоматического регулирования температуры или сигнализации ее отклонений от заданного значения. Пределы измерений: 0—300, 0—400, 0—600° С (градуировки ХК) и 0—600, 0—800, 0—1 100, 0—1 300° С (градуировки ХА). Основная погрешность и погрешность срабатывания контактов регулирующего устройства не превышают ±1,5% от конечного значения рабочей части шкалы.

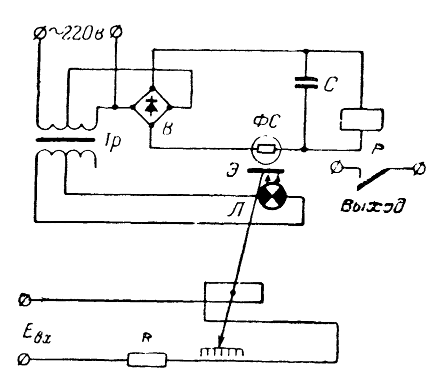


Рис. 26. Схема двухпозиционного фотоэлектрического регулирующего прибора.

Принцип действия фотоэлектрического двухпозиционного устройства основан на изменении сопротивления полупроводникового фотосопротивления в зависимости от светового потока, направленного от лампы *Л*.

На стрелке прибора перпендикулярно укреплен экран *Э* из фольги, который может перекрывать световой поток лампы при некотором положении стрелки. Контакты реле замыкаются при освещении фотосопротивления, а при его затемнении — размыкаются, так как ток в цепи реле уменьшается.

Контакты реле автоматически переключают регулирующие органы системы.

Измерительная и регулирующая части милливольтметра и трансформатор питания с выпрямителем расположены внутри корпуса.

На рис. 27 показана принципиальная схема промышленного двухпозиционного полупроводникового терморегулятора ПРТ-2, предназначенного для регулирования температуры путем подачи команд на исполнительные механизмы установок бытового и технологического кондиционирования воздуха, холодильной техники и других аналогичных устройств.

Прибор состоит из измерительного моста переменного тока, в одно из плеч которого включен термистор *ТС* (ММТ-1), и усили-

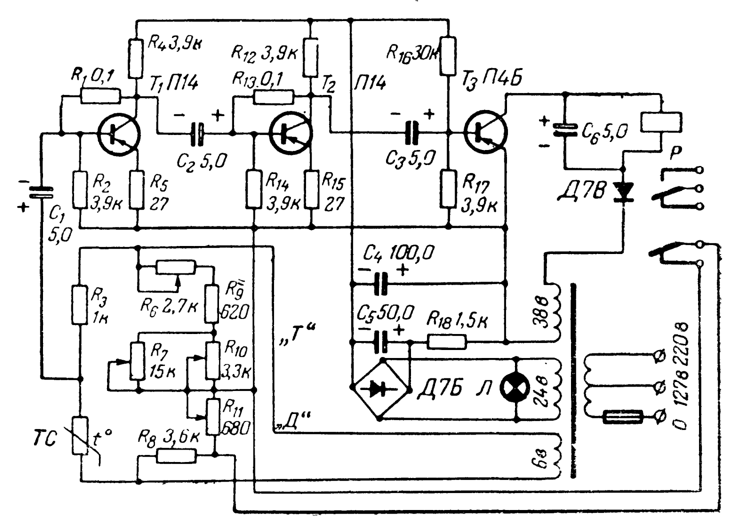


Рис. 27. Схема двухпозиционного прибора ПТР-2.

теля. Переменное сопротивление R_{10} — задатчик температуры, переменное сопротивление R_{11} служит для установки требуемой чувствительности регулирования. В приборе применен усилитель переменного тока на транзисторах.

С диагонали моста сигнал поступает на первые два каскада усиления напряжения, а затем на третий каскад с мощным транзистором. Диод Д7В служит фазочувствительным демодулятором для питания электромагнитного реле постоянного тока МКУ-48, контакты которого в зависимости от изменения температуры включают или выключают исполнительный механизм.

Значения температур на шкале *Т* настройки сопротивления R_{10} соответствуют температуре замыкания (размыкания) контактов *Т*. Шкала дифференциала *Д* показывает разность между температурами замыкания и размыкания прибора. Дифференциал получают благодаря замыканию и размыканию контактом исполнительного реле прибора части сопротивления одного из плеч моста (R_{11}).

Сопротивления обратной связи, включенные в цепи эмиттеров вместе с цепочками R_1R_2 и $R_{13}R_{14}$, обеспечивают термостабилизацию каскадов от изменения температуры окружающей среды, которая может колебаться от 5 до 35°С.

Диапазон регулируемых температур — от —30° до +40° С, диапазон шкалы настройки 25—30° С (например, на рис. 27 данные моста соответствуют диапазону от —10 до +15° С) в зависимости от модификации прибора; погрешность шкалы 0,5° С.

Регулируемый дифференциал прибора от 0,5 до 5° С. Инерционность терморегулятора 30 *сек*.

Если измерительный мост регулирующего прибора выдает постоянный ток и применен усилитель постоянного тока, то надобность в демодулирующих фазочувствительных схемах отпадает.

В регулирующих приборах может быть применен усилитель постоянного тока, если в качестве датчика применяются термометры сопротивления, так как в этом случае на выходе мостовой измерительной схемы можно получить большой сигнал разбаланса.

Лучше всего применять балансные схемы, которые позволяют получить малый дрейф нуля [Л. 20].

В ряде случаев используют простую схему составного транзистора. Однако следует отметить, что дрейф нуля таких схем оказывается значительным из-за температурных условий работы усилителя.

Усилители переменного тока, подобные приведенному на рис. 27, проще в налаживании.

На рис. 28 приведена схема многоточечного прибора для регулирования температуры 50 объектов. В приборе применен усилитель постоянного тока с выходом на поляризованное реле, что дало возможность получить простой трехпозиционный прибор хорошего качества.

Измеряемая величина в виде сопротивления датчика (R_t) поступает в измерительный блок, где сравнивается с задаваемой величиной уставки. В разработанной схеме для упрощения прибора датчики должны выдавать напряжение постоянного тока.

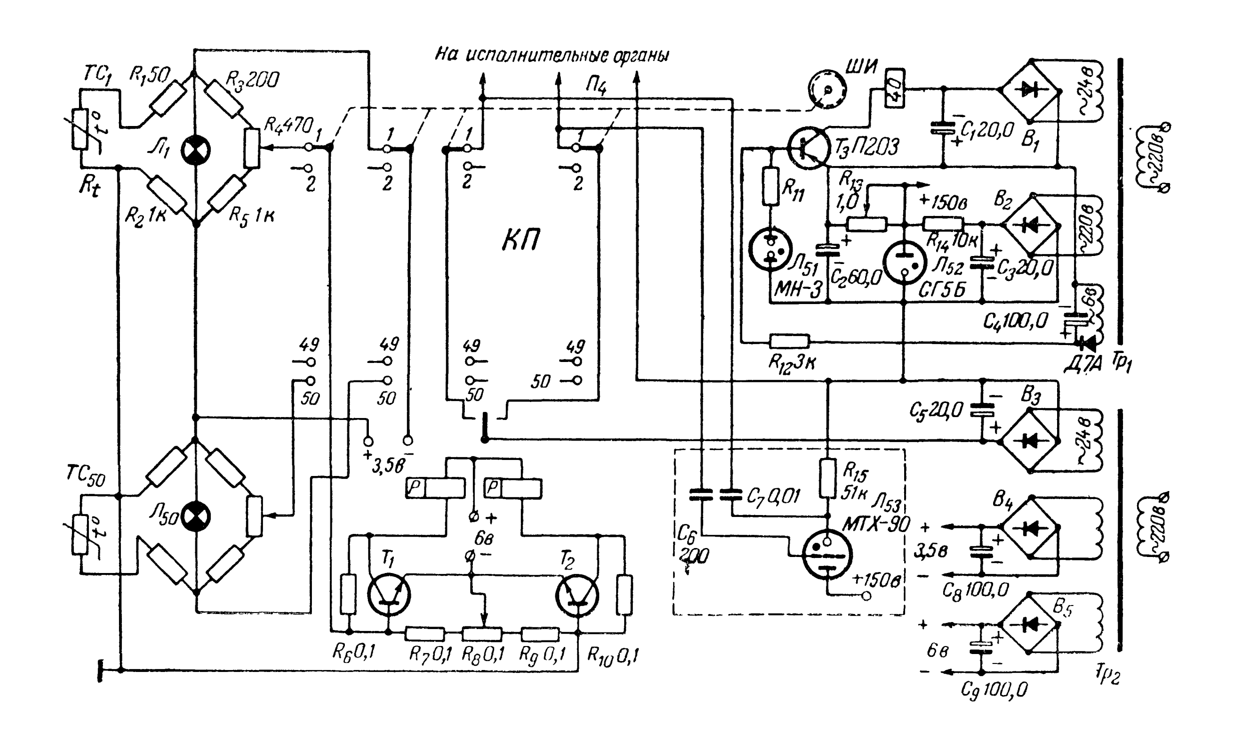
В случае отличия измеряемой величины от заданного значения на выходе моста появляется сигнал ошибки той или иной полярности. Этот сигнал поступает на вход электронного усилителя, управляющего включениями контактов реле «больше» (КБ) или «меньше» (КМ) в зависимости от того, больше или меньше измеряемая величина по отношению к заданному значению.

Трехпозиционное поляризованное реле P_1 (РП-5) усилителя включает исполнительные элементы системы контроля и автоматического регулирования.

Для обслуживания многих объектов служит командный переключатель *КП*, который через определенные промежутки времени подключает ко входу усилителя различные датчики и одновременно к выходу усилителя — исполнительные элементы соответствующих каналов.

Обычно тип переключателя в измерительных системах определяет качество устройства.

В описываемом приборе датчики входят в состав индивидуальных измерительных блоков, а выходы схем сравнения переключаются, т. е. на переключатель поступает лишь сигнал рассогласования,


На исполнительные органы
TC_1
$R_1$50
$R_3$200
$R_4$470
$Л_1$
R_t
$R_2$1к
$R_5$1к
$П_4$
КП
ШИ
40
T_3П203
$C_1$20,0
B_1
~24в
~220в
R_{11}
R_{13} 1,0
+150в
B_2
R_{14}10к
$Л_{51}$ МН-3
$C_2$60,0
$Л_{52}$ СГ5Б
$C_3$20,0
~6в
$C_4$100,0
R_{12}3к
Д7А
Tp_1
49
50
1
2
$C_5$20,0
B_3
+ 3,5в −
TC_{50}
$Л_{50}$
P
+ 6в −
T_1
T_2
C_6 200
$C_7$0,01
R_{15} 51к
$Л_{53}$ МТХ-90
+150в
B_4
3,5в
$C_8$100,0
B_5
6в
$C_9$100,0
Tp_2
$R_6$0,1
$R_7$0,1
$R_8$0,1
$R_9$0,1
R_{10}0,1

знак которого определяет срабатывание устройства. Это позволяет снизить требования к переключателю и применить в качестве последнего шаговый искатель *ШИ*. Однако в отдельных случаях при небольшом числе каналов можно применить переключатель КЭП-12У, имеющий 12 контактов, с приводом от вала, вращаемого через редуктор синхронным электродвигателем.

Кроме постоянных манганиновых сопротивлений, в состав мостовой схемы включен задатчик уставки температуры — переменное сопротивление R_4, шкала которого градуирована в градусах.

Контактных соединений в схемах измерительных блоков нет, что повышает надежность и точность устройства.

Переключатель прибора имеет четыре шины. Первая шина шагового искателя $П_1$ соединяет выходы измерительных блоков на вход усилителя, вторая шина $П_2$ включает питание на соответствующие блоки, третья $П_3$ и четвертая $П_4$ шины соединяют контакты выходного реле со входами исполнительных органов различных каналов.

Для переключения применен шаговый искатель ШИ50/4 с палладированными контактами и напряжением питания, равным 24 *в*.

Для автоматического переключения искателя его обмотка подключена к специальному низкочастотному генератору импульсов, выполненному по релаксационной схеме с неоновой лампой МН-3. В цепь разряда неоновой лампы включен транзистор T_3 для усиления мощности импульса, переключающего шаговый искатель. Транзистор работает в ключевом режиме. Время между соседними импульсами зависит от постоянной времени цепи $R_{13}C_2$. Для регулировки времени сопротивление R_{13} — переменное. При указанных на схеме значениях время одного шага искателя можно изменять от 0,5 до 22 *сек*.

При применении прибора КЭП-12У цикл регулируется в пределах от 4 до 1 488 *мин*.

Блок усилителя электронного регулирующего прибора с реле РП-5, генератор импульсов и трансформатор $Тр_1$ питания искателя и генератора смонтированы на одном основании размерами 100×80×120 *мм*, на передней панели которого находятся ручки регулировок и реле РП-5. Шаговый искатель и трансформатор питания $Тр_2$ измерительных блоков и цепей исполнительных органов установлены на отдельном основании.

В связи с тем, что контроль параметров отдельных каналов при большом периоде обегания каналов затруднен, в приборе имеются блоки «памяти», сохраняющие значения отклонений параметров своих каналов на время всего периода обегания.

В данном варианте применена память «больше», т. е. индикатор памяти светится на каждом канале, пока контролируемый параметр превышает заданное блоком значение.

Блок памяти представляет собой триггерную ячейку на малогабаритном бесканальном тиратроне МТХ-90, служащем одновременно индикатором. Каждый канал снабжен своим триггером.

Импульсы зажигания либо гашения поступают на тиратрон своего канала в момент опроса данной точки с контактов шагового искателя. Блок памяти оформлен вместе с блоком задания параметра на индивидуальных монтажных основаниях каналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, Машгиз, 1959.

2. Бутусов И. В., Автоматические контрольно-измерительные и регулирующие приборы, Гостоптиздат, 1958.

3. Якобсон В. Б., Автоматизация холодильных установок, Госторгиздат, 1958.

4. Нечаев Г. К. и Удалов Н. П., Реле и датчики с полупроводниковыми термосопротивлениями, ГЭИ, 1961.

5. Соколов П. В. и Шорников Е. А., Централизованный контроль и автоматическое регулирование режимов в сушильных камерах, изд. ЛДНТП, 1963.

6. Макнамара, Полупроводниковые диоды и транзисторы как электрические термометры, «Приборы для научных исследований», № 3, 1962.

7. Сборник «Лучшие конструкции 14 и 15 выставок творчества радиолюбителей», изд. ДОСААФ, 1959.

8. Полонников Д. Е., Электронные усилители автоматических компенсаторов, Физматгиз, 1960.

9. Преображенский В. П., Теплотехнические измерения и приборы, ГЭИ, 1953.

10. Богомолов В. Н., Устройства с датчиками Холла и датчиками магнитосопротивления, ГЭИ, 1961.

11. Мизюк Л. Я., Зубов В. Г., Сборник «Автоматический контроль и измерительная техника», вып. 5, изд. АН УССР, 1961.

12. Шенброт И. М., Централизованный контроль технологических процессов, ГЭИ, 1961.

13. Миронов В. Д., Оболенский Н. А., Яковлев Ю. С., Бесконтактная система регулирования ЭАУС-У, ЦБТИ Чувашского совнархоза, 1962.

14. Нечаев Г. К., Термосопротивления в температурном контроле, Гостехиздат УССР, 1959.

15. Вотлохин Б., Термощуп, «Радио», № 10, 1961.

16. Шегал Г. Л., Электрические ненаполнительные механизмы, ГЭИ, 1961.

17. Маркус Дж., Применение электронной автоматики, изд. ИЛ, 1962.

18. Кампе-Немм А. А., Сборник «Теплоэнергетические и химико-технологические приборы и регуляторы», Машгиз, 1961.

19. Розенцвит Ц. И. и Эйгенброт В. М., Задающие устройства программных и следящих регуляторов технологических процессов, ГЭИ, 1963.

20. Шорников Е. А., Программное управление тепловой установкой, «Радио», № 6, 1961.

21. Павлов В. В. и Глушков П. П., Сборник «Приборы и средства автоматизации», № 2, 1961.

Цена 13 коп.